PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

No. 15. 1. August 1905. Redaktionsschluß für No. 16 am 9. August 1905. 6. Jahrgang.

INHALT:

Originalmitteilungen:

H. Gerdien, Über die spezifische Geschwindigkeit der positiv geladenen Träger der atmosphärischen radioaktiven Induktionen. S. 465.

T. Retschinsky, Die Charakteristik der unselbständigen Strömung in Luft nach der Beobachtung und nach der Rieckeschen Theorie. S. 472.

K. Przibram, Über das Verhältnis der Ionenbeweglichkeiten in schlechtleitenden Flüssigkeiten und seine Beziehung zu den polaren Unterschieden bei der elektrischen Entladung. II. S. 473.

J. B. Whitehead, Über den magnetischen Effekt der elektrischen Verschiebung. S. 475.

W. Höltz, Sehr ungleiche Elektroden-, Ventilzellen-, Metallvegetationen. S. 480.

Vorträge und Reden:

C. H. Wind, Elektronen und Materie. S. 485.

Besprechungen:

Jahrbuch der Photographien. III. S. 495.

Deutscher Camera-Almanach 1905. S. 495.

F. H. Getman, Laboratoriums-Übungen in physikalischer Chemie. S. 495.

P. Th. Müller, Die Grundgesetze der Elektrochemie. S. 495.

F. Mollwo Perkin, Praktische Methoden der Elektrochemie. S. 495.

R. Schenck, Kristallinische Flüssigkeiten und flüssige Kristalle. S. 496.

R. Börnstein u. W. Marckwald, Sichtbare und unsichtbare Strahlen. S. 496.

J. Daniel, Radioaktivität. S. 496.

Personalien. S. 496.

Gesuche. S. 496.

ORIGINALMITTEILUNGEN.

Über die spezifische Geschwindigkeit der positiv geladenen Träger der atmosphärischen radioaktiven Induktionen.

(Vorläufige Mitteilung.)

Von H. Gerdien.

J. Elster und H. Geitel haben den Nachweis erbracht, daß in den Atmosphären radioaktive Induktionen vorhanden sind [1]; nach ihnen hat eine große Reihe von Forschern die Untersuchung über das Vorkommen dieser Induktionen fortgesetzt. Die Elster-Geitelsche Methode zur Gewinnung der radioaktiven Induktionen aus der Atmosphäre ist ähnlich der von E. Rutherford [2] bei der Untersuchung der Thor-Induktionen und von P. Curie [3] u. a. bei der Untersuchung der Radium-Induktionen angewendeten: es wird ein auf hohes negatives Potential geladener Leiter der zu untersuchenden Luft ausgesetzt, die auf seiner Oberfläche niedergeschlagenen Induktionen werden mittels der ionisierenden Wirkung, die sie auf ein abgeschlossenes Gasvolumen ausüben, nachgewiesen und in ihrer Intensität gemessen. Ein wesentlicher Unterschied zwischen der Rutherford-Curieschen und der Elster-Geitelschen Methode besteht darin, daß die Exposition des zu aktivierenden Körpers bei ersteren in einem geschlossenen Gefäß vorgenommen wird, während Elster und Geitel den negativ geladenen Draht einfach der freien Luft aussetzen. Im ersten Falle erhält man tatsächlich in der Intensität der niedergeschlagenen Induktionen ein quantitatives Maß für den Gehalt des abgeschlossenen Gasvolumens an derjenigen Emanation, aus der die betreffenden Induktionen entstehen. Die zahlreichen Beobachter, welche die Elster-Geitelsche Methode in der Atmosphäre angewendet haben, scheinen der Ansicht zu sein, daß die so erhaltenen Draht-Aktivierungen ein quantitatives Maß für den Gehalt der Luft an Induktionen oder an den erzeugenden Emanationen seien. Die Grundlagen der Elster-Geitelschen Methode schienen mir um so mehr der Aufklärung zu bedürfen, als sich mehr und mehr herausstellte, eine wie wichtige Rolle die radioaktiven Stoffe in dem Elektrizitätshaushalt der Atmosphäre spielen. Ich stellte mir daher zunächst die Aufgabe, zu untersuchen, ob den Trägern der radioaktiven Induktionen in der Atmosphäre eine gewisse spezifische Geschwindigkeit im elektrischen Felde zukommt, und von welcher Größe diese Geschwindigkeit ist, indem ich von dem Gedanken geleitet wurde, daß die nach der Elster-Geitelschen Methode gemessenen „Aktivierungszahlen" nicht nur von dem Gehalt der Luft an Emanationen und Induktionen, sondern auch von den spezifischen Geschwindigkeiten der Träger der Induktion und von den Strömungsverhältnissen der Luft innerhalb des von dem geladenen Drahte ausgehenden elektrischen Feldes abhängen müssen.

Methode.

Die Methode, welche ich für diesen Zweck anwandte, ist im Prinzip verwandt mit der Methode, welche ich zur Messung der spezifischen Geschwindigkeit der Ionen in der Atmosphäre benutzt habe; nur war insofern eine mehr spezialisierte Untersuchung leicht auszuführen, als die an irgendeiner Fläche niedergeschlagenen Träger der radioaktiven

1) J. Elster und H. Geitel, diese Zeitschr. **3**, 305—310, 1902; diese Zeitschr. **4**, 138—140, 1902.

2) E. Rutherford, Phil. Mag. [5] **49**, 165—192, 1900 (diese Zeitschr. **1**, 347, 1900).

3) P. Curie und A. Debierne, C. R. **132**, 548—551, 1901 (diese Zeitschr. **2**, 500, 1901).

Induktionen an dieser haften und ihre Flächendichte so direkt meßbar wird.

Saugt man die zu untersuchende Luft zwischen den Elektroden eines Zylinderkondensators hindurch, dessen innere Elektrode negativ gegen die äußere geladen ist, so werden sich die positiven Träger der radioaktiven Induktionen, falls ihnen eine spezifische Geschwindigkeit von meßbarer Größe zukommt, in einer gesetzmäßig variierenden Flächendichte auf der inneren Elektrode niederschlagen; diese Flächendichte kann als Funktion der Versuchsvariabeln (Luftgeschwindigkeit, Spannungsdifferenz zwischen den Elektroden und des Abstandes des betreffenden Flächenelementes von dem vorderen Ende der inneren Elektrode) dadurch festgestellt werden, daß man die innere Elektrode nach Beendigung der Exposition ihrer Länge nach in Intervalle zerlegt, welche einzeln auf ihre ionisierende Wirkung untersucht werden.

Zunächst will ich die Intensitätsverteilung ableiten, die auf der inneren Elektrode unter Annahme einer einzigen Art von Trägern mit einer wohldefinierten spezifischen Geschwindigkeit entstehen muß. Es bezeichne

r_a den Radius der äußeren Elektrode,
r_i „ „ „ inneren „ ,
l die Länge „ „ „ des Zylinderkondensators,
G die über den Querschnitt des Zylinderkondensators als konstant angenommene Geschwindigkeit des Luftstromes parallel der Achse des Kondensators,
V die Spannungsdifferenz zwischen den Elektroden in elektrostatischem Maß,
v die spezifische Geschwindigkeit der Träger in elektrostatischem Maß,
η die Anzahl der auf der Flächeneinheit in der Sekunde niedergeschlagenen Träger,
n die Anzahl der im ccm enthaltenen Träger,
q die Anzahl der im ccm pro Sekunde entstehenden Träger.

Der Ursprung eines rechtwinkeligen Koordinatensystems liege im vorderen Ende der inneren Elektrode, die X-Achse falle mit der Achse des Zylinderkondensators zusammen und sei gleichgerichtet mit dem Luftstrome.

Dann lauten die Bewegungsgleichungen eines geladenen Trägers der Induktion für die $X\,Y$-Ebene.

$$\frac{dx}{dt} = G; \quad \frac{dy}{dt} = -\frac{V.v}{y\ lg\ (r_a/r_i)}$$

und die Differentialgleichung der Bahnkurven:

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{V.v}{y\ .\ G\ .\ lg\ (r_a/r_i)},$$

welche integriert die Schar der Bahnkurven in der $X\,Y$-Ebene ergibt:

$$y_o^2 - y^2 = x.\ \frac{V.v}{2\ G\ .\ lg\ (r_a/r_i)};$$

darin bedeutet der Parameter y_o den Abstand von der Achse des Zylinderkondensators, in welchem der betrachtete Träger die Eintrittsebene $x = 0$ passiert. Die Bahnkurven sind Parabeln, deren Achsen mit der Achse des Zylinderkondensators zusammenfallen. Setzt man $y_o = r_a$ und $y = r_i$, so erhält man die maximale Entfernung vom Anfang der inneren Elektrode, bis zu der überhaupt die Träger von der spezifischen Geschwindigkeit v auf der Elektrode niedergeschlagen werden:

$$x_{\max\,(v)} = \frac{(r_a^2 - r_i^2)}{V.v}\ 2\ G\ .\ lg\ (r_a/r_i)$$

$$v = \frac{(r_a^2 - r_i^2)}{V\ .\ x_{\max\,(v)}}\cdot 2\ G\ .\ lg\ r_a/r_i\,,$$

für alle $x > x_{\max\,(v)}$ ist also die Flächendichte $\eta_{(v)}$ der Träger von der spezif. Geschwindigkeit v gleich Null. Für alle $x < x_{\max\,(v)}$ ergibt sich die Flächendichte dieser Träger zu

$$\eta_{,(v)} = \frac{V\ .\ v\ .\ n}{4\ G\ .\ lg\ (r_a/r_i)\ r_i},$$

also konstant und unabhängig von x.

Sind mehrere verschiedene Arten von Trägern vorhanden mit den verschiedenen spezif. Geschwindigkeiten $v_1 < v_2 < v_3 \ldots < v_k$ und ist die Länge der inneren Elektrode $l > x_{\max\,(v_1)}$, so werden alle diese Träger auf der inneren Elektrode niedergeschlagen werden.

Bezeichnen wir mit $n_1, \eta_1; n_2, \eta_2; \ldots n_k, \eta_k$ die spezifischen Zahlen bezw. die Flächendichten der Träger von den spezifischen Geschwindigkeiten $v_1 < v_2 < \ldots v_k$, so ergibt sich die Gesamtflächendichte aus der Überlagerung der Einzelflächendichten; trägt man die Flächendichten als Ordinaten zu den Abszissen x ab von dem Anfange der inneren Elektrode $x = 0$ beginnend, so ergibt sich folgendes Bild:

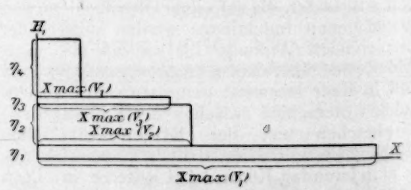


Fig. 1.

Die verschiedenen $x_{\max\,(v_k)}$ (die Grundlinien der Rechtecke) sind also umgekehrt proportional den spezifischen Geschwindigkeiten der einzelnen Träger, die Höhen der einzelnen Rechtecke sind proportional den Produkten aus spezifischer Zahl und spezifischer Geschwindigkeit der betreffenden Art von Trägern; der Inhalt der einzelnen Rechtecke ist also proportional den bezüglichen

spezifischen Zahlen $n_1, n_2 \ldots n_k$. Eine derartige Verteilung der Flächendichte über die Länge der inneren Elektrode wird bestehen müssen, wenn unter den Trägern diskrete Gruppen mit diskontinuierlich variierender spezifischer Geschwindigkeit vorkommen, von denen jede mit einer bestimmten räumlichen Dichte im Gase vertreten ist. Variiert dagegen die spezifische Geschwindigkeit der Träger merklich kontinuierlich, was z. B. der Fall sein wird, wenn nur eine bestimmte, sehr leicht bewegliche Art von Trägern ursprünglich erzeugt wird, deren spezifische Geschwindigkeit mit der Zeit durch kontinuierliche Anlagerung von Masse an das ursprünglich leicht bewegliche Teilchen stetig sinkt, so werden wir für die Verteilung der Flächendichte auf der inneren Elektrode statt der sprunghaft variierenden Begrenzungslinie einen stetigen Kurvenzug erhalten:

Fig. 2.

Die Abszissen der Punkte der Kurve sind nun umgekehrt proportional der spezifischen Geschwindigkeit derjenigen Träger, deren Flächendichte man aus der Kurve bestimmen kann, es ist nämlich

$$\int_{\eta_1}^{\eta_2} x\, d\eta = N,$$

der Gesamtzahl der im ccm enthaltenen Träger, deren spezifische Geschwindigkeiten zwischen

$$v_1 = \frac{(r^2_a - r^2_i)\, 2\, G\, .\, lg\,(r_a/r_i)}{V\, .\, x_1}$$

und

$$v_2 = \frac{(r^2_a - r^2_i)\, 2\, G\, .\, lg\,(r_a/r_i)}{V\, .\, x_2}$$

liegen, wobei x_1 und x_2 die zu η_1 und η_2 gehörigen Abszissen sind. Im Grenzfall wird der Integrationsstreifen $x\,d\eta$ gleich der spezifischen Zahl derjenigen Art Träger, deren spezifische Geschwindigkeit v sich ergibt zu

$$v = \frac{(r^2_a - r^2_i)\, 2\, G\, .\, lg\,(r_a/r_i)}{V\, .\, x}.$$

Bis jetzt wurde bei der Berechnung der Flächendichte auf der inneren Elektrode nur derjenige Anteil an Trägern berücksichtigt, der bereits in dem aspirierten Luftvolumen vorhanden war, als es in den Zylinderkondensator eintrat; zu dieser Flächendichte kommt noch ein Anteil hinzu, der von den innerhalb des Zylinderkondensators entstehenden Trägern herrührt. Jeder innerhalb des Zylinderkondensators entstehende Träger muß sich offenbar auf einer Parabel bewegen, die der Schar angehört

$$r_a^2 - y^2 = (x - x_o)\, \frac{v\, V}{2\, G\, lg\,(r_a/r_i)},$$

worin x_o Parameter ist. Wie die Anschauung ergibt, ist dieser zweite Anteil der Flächendichte für alle $x > x_{\max\,(v)}$ konstant und $\eta_{\prime\prime(v)} = \dfrac{(r_a^2 - r_i^2)\, q}{2\, r_i}$, für alle $x < x_{\max\,(v)}$ $\eta_{\prime\prime(v)} = \dfrac{x\, .\, v\, .\, V\, q}{4\, G\, lg\left(\frac{r_a}{r_i}\right) r_i}$. Stellen wir wieder die Flächendichte als Funktion von x dazu, so ergibt sich jetzt das folgende Bild (konstruiert für die Träger mit den spezifischen Geschwindigkeiten v_1, v_2, v_3, v_4 der Fig. 1).

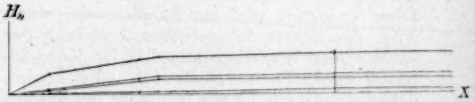


Fig. 3.

Während also die Ordinaten der Kurve für $\eta_\prime$ mit wachsendem x monoton abnehmen mußten, kommt bei der Verteilung von $\eta_{\prime\prime}$ eine monotone Zunahme zustande, die bei $x_{\max\,(v_1)}$ ein Ende erreicht; von hier ab ist $\eta_{\prime\prime} = \Sigma_k\, \eta_{\prime\prime k}$ konstant und unabhängig von der Geschwindigkeit des Luftstromes wie auch von der Größe der Spannungsdifferenz zwischen den Elektroden des Zylinderkondensators, sofern überhaupt eine merkliche Spannungsdifferenz unterhalten wird. Es soll hier nicht darauf eingegangen werden, wie sich aus den bei den Abszissen $x_{\max\,(vk)} \ldots x_{\max\,(v_3)}$, $x_{\max\,(v_2)}$, $x_{\max\,(v_1)}$ liegenden Knickpunkten der Verteilungskurve der Flächendichte $\eta_{\prime\prime}$ die einzelnen $\eta_{\prime\prime\,(vk)}$ und $q_{(vk)}$ gewonnen werden könnten und wie bei stetigem Verlauf der Begrenzungskurve die Analyse durchzuführen wäre, da, wie sich zeigen wird, der Flächendichte $\eta_{\prime\prime}$ nur die Bedeutung einer Korrektionsgröße neben dem $\eta_\prime$ zuzukommen scheint. Als wichtig soll nur noch die einfache Beziehung hervorgehoben werden, welche zwischen der Flächendichte $\eta_{\prime(v)}$ und der für $x \geq x_{\max\,(v)}$ geltenden Flächendichte $\eta_{\prime\prime\,(v)}$ besteht; es ergibt sich nämlich einfach

$$\frac{\eta_{\prime\,(v)}}{\eta_{\prime\prime\,(v)}} = \frac{n}{q\, x_{\max\,(v)}},$$

eine Beziehung, welche direkt zur Ermittelung des Verhältnisses n/q benutzt werden kann. Auch ist ersichtlich, wie selbst in dem Falle, daß q von der Größenordnung von n ist, durch

passende Wahl der Versuchsbedingungen — entsprechende Wahl von $x_{\max(v)} - \eta_{\prime(v)}$ groß gegen $\eta_{\prime\prime(v)}$ gemacht werden kann.

Die bisher betrachteten Verteilungsgesetze der Flächendichten $\eta_\prime$ und $\eta_{\prime\prime}$ der Träger der Induktionen entsprechen den in der Zeiteinheit auf der inneren Elektrode niedergeschlagenen Zahlen dieser Träger. In Wirklichkeit ist n eine komplizierte Funktion des Gehalts der Luft an erzeugender Emanation, des elektrischen Feldes, der Atmosphäre, der meteorologischen Bedingungen, q eine Funktion des Gehaltes der Luft an Emanation; es wird daher die nach einer Expositionszeit t_e erhaltene Flächendichte η in sehr verwickelter Weise von diesen Größen und dem Gesetz der radioaktiven Umwandlung bestimmt sein. Auch kann die Untersuchung der einzelnen Längenintervalle der inneren Elektrode erst zu einer Zeit t nach dem Ende der Exposition stattfinden, es müssen also die gemessenen Flächendichten, damit sie vergleichbar werden, auf die gleiche Zeit reduziert werden. Diese Reduktion wird nur möglich sein, wenn zuvor das Gesetz der zeitlichen Änderung der ionisierenden Strahlungsintensität für jedes Intervall ermittelt ist. Stellt sich dabei heraus, daß dieses Gesetz für alle Intervalle der inneren Elektrode das gleiche ist, so müssen die Träger der Induktion alle von der gleichen Emanation abstammen und können sich nur durch verschiedene spezifische Geschwindigkeit unterscheiden. In diesem Falle stellt sich, falls die Änderungen der verschiedenen n und q während der Expositionszeit in konstantem Verhältnis erfolgen, die zur Zeit t beobachtete Flächendichte in der Form

$$\eta_t = (\eta_\prime (t_e) + \eta_{\prime\prime} (t_e)) f(t)$$

dar, es wird also an den Intensitätsverhältnissen der einzelnen Intervalle durch die Summierung über die Expositionszeit und durch die während dieser Zeit und der bis zur Beobachtung verstrichenen Zeit erfolgenden Intensitätsänderung der Strahlung nichts geändert; man darf also unter diesen Bedingungen aus der vorgefundenen Intensitätsverteilung die gleichen Schlüsse auf die Verteilung der spezifischen Geschwindigkeiten und der mittleren spezifischen Zahlen der einzelnen Trägerarten ziehen wie aus der Momentanverteilung. Ändern sich die spezifischen Zahlen der einzelnen Trägerarten während der Exposition unabhängig voneinander, so wird man aus dem Flächendichte-Diagramm nur noch auf die Verteilung der spezifischen Geschwindigkeiten schließen dürfen. Die Verhältnisse gestalten sich noch komplizierter, wenn die verschiedenen Trägerarten von verschiedenen Emanationen abstammen; dann ist es nur durch Feststellung der zeitlichen Änderung der Intensitätsverteilung auf der inneren Elektrode möglich, einen Anhalt über die Verteilung der spezifischen Geschwindigkeiten bei den verschiedenen Trägergattungen zu gewinnen. Sind z. B., wie es in der Atmosphäre der Fall ist, im wesentlichen zwei verschiedene Induktionsgattungen (Radium- und Thorinduktionen) vorhanden, für welche der zeitliche Verlauf der Intensität der ionisierenden Strahlung ein merklich verschiedener ist, so gelingt die Unterscheidung der von beiden Induktionsgattungen herrührenden Flächendichten nach folgender Methode. Man bestimmt die Intensitätsverteilung einmal möglichst kurze Zeit nach dem Ende der Exposition und erhält damit eine Superposition der von Radium- und Thorinduktionen herrührenden Flächendichteverteilungen; bestimmt man die Intensitätsverteilung nun nochmals nach Verlauf einer Zeit, die hingereicht hat, um die Strahlungsintensität der Radiuminduktionen auf einen sehr kleinen Wert sinken zu lassen, so erhält man jetzt merklich die den Thorinduktionen eigentümliche Flächendichteverteilung. Indem man aus dieser Verteilung mittels des für die Thorinduktionen bekannten Gesetzes der zeitlichen Änderung die zur Zeit der ersten Messung geltende Intensitätsverteilung der Thorinduktionen rekonstruiert, kann man durch Subtraktion dieser rekonstruierten Flächendichten von der ursprünglich gemessenen die Verteilungskurve der Radiuminduktionen ermitteln.

Es ist bemerkenswert, daß die Aspirationsmethode auch ein quantitatives Maß für den mittleren Gehalt der aspirierten Luft an Emanationen gibt. Wie nämlich schon gezeigt wurde, ist die Flächendichte $\eta_{\prime\prime}$, herrührend von den pro Zeit- und Volumeneinheit neu erzeugten Trägern der Induktionen, die auf dem hinteren Teil der inneren Elektrode bei geeigneten Versuchsbedingungen (für $x > x_{\max(v_\prime)}$) niedergeschlagen wird, unabhängig von der Potentialdifferenz zwischen den Elektroden und von der Geschwindigkeit des Luftstromes. Nun ist die Zahl der in der Zeit- und Volumeneinheit entstehenden Induktionsträger direkt das Maß für die in der Zeit- und Volumeneinheit umgewandelten Emanationsatome; die Zahl der umgewandelten Atome ist eben nach dem Grundgesetz der monomolekularen Reaktionen, dem die radioaktiven Umwandlungen unterliegen, proportional der Zahl der in der Volumeneinheit vorhandenen Emanationsatome. Es gibt also die Messung der Flächendichte $\eta_{\prime\prime}$ direkt ein quantitatives Maß für den Gehalt der Luft an Emanation. Durch Aufnehmen des zeitlichen Verlaufes der Strahlungsintensität dieser Induktion läßt sich wieder der Anteil der Radiuminduktion von demjenigen der Thorinduktion trennen, und somit läßt sich auch der Gehalt der Radiumemanation von dem an Thoremanation gesondert bestimmen.

Versuchsanordnung.

Die zu den Messungen benutzte Anordnung war folgende: Auf dem Ostbalkon des geophysikalischen Instituts war ein Zylinderkondensator aufgestellt, dessen äußere Elektrode aus einem 300 cm langen Zinkblechrohre bestand; die innere Elektrode wurde durch ein in der Mitte von einem vertikalen, isolierten, 5 mm dicken Messingdraht getragenen Messingrohr gebildet, dessen Enden unter Zwischenschaltung von Hartgummiisolatoren durch je drei unter Winkeln von 120^0 gespannte Drähte gestützt wurden. Die Länge der inneren Elektrode betrug 275 cm, der Durchmesser 2,12 cm, der Durchmesser der äußeren Elektrode 12,2 cm. An dem einen Ende war ein Aspirator von der beim Aßmannschen Aspirationspsychrometer gebräuchlichen Form angeschlossen, dessen aus Kupfer gedrücktes Turbinenrad einen Durchmesser von 50 cm und am Rande eine freie Spaltweite von 2,5 cm besaß. Die Achse des Aspirators war direkt gekoppelt mit einem Gleichstrom-Elektromotor von $^1/_{12}$ (bezw. $^1/_6$ bei einigen Versuchen) PS. Die innere Elektrode wurde mit einem Papierrohr überzogen, das aus einem etwa 5 cm breiten, in Schraubenwindungen aufgewickelten Streifen zusammengeklebt war, und vor dem Aufziehen auf die Elektrode in Abständen von 25 zu 25 cm mit numerierten Marken bezeichnet war. Die innere Elektrode wurde mittels einer Hochspannungsbatterie kleiner Akkumulatoren auf konstanter Spannung gegen die geerdete äußere Elektrode gehalten. Die Umlaufsgeschwindigkeit des Aspirators wurde während der Dauer der Exposition durch einen dauernd angeschlossenen Tourenzähler kontrolliert und konnte so auf wenige Prozent konstant gehalten werden. Nach Beendigung der Exposition wurden möglichst schnell die Stützdrähte an den Enden der inneren Elektrode beseitigt, die beiden Hälften des Papierrohres heruntergezogen, an den vorbezeichneten Stellen in Intervalle von je 25 cm Länge zerschnitten und diese der Länge nach aufgeschnitten. Man erhielt so Papierrechtecke von 25 cm Länge und 6,7 cm Breite, deren exponierte Seite möglichst vor Berührung mit den Fingern bewahrt wurde. Das Herrichten der Papierstreifen zur Untersuchung erforderte im allgemeinen nur wenige Minuten.

Der Aspirator war mittels Flügelanemometers und Stroboskopscheibe nach dem von Herrn H. Schering und mir[1]) angegebenen Verfahren geeicht worden; das Anemometer war in ein Schutzrohr von dem gleichen Durchmesser eingebaut, den auch die äußere Elektrode des Zylinderkondensators hatte. Es war mittels des großen Gasometers des hiesigen phys.-techn. Instituts kalibriert worden[1]); die Eichung ergab ein gefördertes Luftvolumen von 9,3 cbdm für jede Umdrehung des Aspirators.

Zur Untersuchung der aktivierten Papierstreifen diente ein Elektrometer von folgender Konstruktion. In einem zylindrischen Zinkblechgehäuse von 20 cm Durchmesser und 25 cm Höhe, das auf einer Messinggrundplatte mit 3 Stellschrauben montiert war, befand sich auf einer Bernsteinsäule von 9 cm Höhe und 0,7 cm Durchmesser das eigentliche Elektrometer. Dieses bestand aus einem 40 mm langen

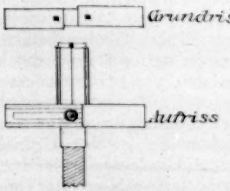


Fig. 4.

Messingrohr von quadratischem Querschnitt (innen 7 mm Seitenlänge), das in der Mitte einer Seite auf dem Bernsteinisolator befestigt war; die rechte Hälfte der Rückwand und die linke Hälfte der Vorderwand des Rohres waren herausgefeilt. Die Feilung erstreckte sich auch auf die Mitte der oberen Rohrwand; diese trug zwei 40 mm lange Säulchen, an deren oberen Enden in einer Klemmvorrichtung das Ende einer Suspension gehalten wurde. Ein Wollastondraht von etwa 40 mm Länge hing von hier herab und trug unten einen rechteckigen Aluminiumblech-Flügel von $^1/_{20}$ mm Dicke, 35 mm Länge und 6 mm Höhe. Auf der einen Seite des Flügels war ein kleiner Planspiegel aufgekittet, dessen Stellung durch ein im Gehäuse angebrachtes, mit einer planparallelen Glasplatte verschlossenes Fenster hindurch mittels Fernrohr und Skala abgelesen wurde; auf der anderen Seite des Aluminiumflügels war ein kleiner Stahlmagnet (Gewicht 14 mg) aufgekittet, der mittels eines von außen einstellbaren Richtmagnetes zur Regulierung der Empfindlichkeit des Elektrometers diente.[2]) Das Elektrometer konnte von oben mittels einer den abnehmbaren Deckel zentrisch isoliert durchdringenden Sonde, die gewöhnlich an das geerdete Ge-

1) H. Gerdien u. H. Schering, diese Zeitschr. 5, 297 bis 298, 1904.

1) Herrn Prof. L. Prandtl bin ich für die freundliche Überlassung der Mittel seines Instituts zu Dank verpflichtet. Ebenso sage ich auch Herrn Dr. Schering für seine freundliche Unterstützung bei den Eichungsarbeiten herzlichen Dank.

2) Bei der abgelegenen Lage des Instituts kamen äußere magnetische Störungen nicht in Betracht. Für andere Laboratorien wird sich als Suspension ein versilberter oder platinierter Quarzfaden empfehlen.

häuse gelegt war, geladen und geeicht werden. Die zu untersuchenden Papierstreifen wurden an der Innenseite der Gehäusewand mittels angelöteter Drahtbügel mit der aktivierten Seite nach innen festgespannt; es konnten höchstens 5 Streifen von 25 cm Länge und 6,7 cm Breite gleichzeitig untersucht werden. Das Elektrometer wurde vor jeder Versuchsreihe (durch Vergleich mit einem an die Hochspannungsbatterie gelegten Präzisionsvoltmeter (Mikro-Amperemeter von Reiniger in München, 365 Ohm Widerstand, 1 Skalenteil = $5{,}10^{-6}$ Amp. mit Vorschaltwiderstand von 100000 Ohm) geeicht. Die Empfindlichkeit wächst angenähert nach einem quadratischen Gesetz und beträgt zwischen 300 und 350 Volt etwa 1,8 Volt für ein cm der Skala (Skalenabstand 220 cm). Gemessen wurde stets die Zeit, welche während des Durchganges von 100 Skalenteilen durch das Fadenkreuz des Fernrohrs verstrich, so daß die einzelnen Messungen einer Versuchsreihe mit verhältnismäßig großer Genauigkeit vergleichbar sind. Die Empfindlichkeit des Elektrometers blieb stets während der einige Stunden beanspruchenden Messungen auf weniger als 1 % konstant.

Das Elektrometer wurde vor jeder Versuchsreihe neu geeicht; vor und nach jeder Versuchsreihe wurde der Reststrom im leeren Gehäuse gemessen. Es war notwendig, diese Messungen mit großer Sorgfalt vorzunehmen, da die Sättigungsströme, welche nach Einführung der aktivierten Papierstreifen im Gehäuse eintraten, zuweilen von der Ordnung des Reststromes waren.

Durch besondere Versuche wurde festgestellt, daß innerhalb des Spannungsintervalls von 350—250 Volt merklich Sättigungsstrom für die in Betracht kommenden Ionisierungsstärken erreicht war; die eigentlichen Messungen wurden stets in dem Intervall 350—300 Volt vorgenommen. Als störend erwies sich anfangs der Umstand, daß nach einem Vorzeichenwechsel der Ladung des isolierten Systems ein um einige Prozent stärkerer Spannungsabfall von dem Elektrometer angezeigt wurde als vorher; dieses Verhalten wurde durch das Kriechen der Ladung auf dem langen Bernsteinisolator veranlaßt und mußte wohl gerade bei der äußerst kleinen Kapazität (etwa 2 cm) des Elektrometers störender bemerkbar werden als sonst. Es wurde daher stets mit dem gleichen Vorzeichen der Ladung gearbeitet und das Elektrometer schon eine Stunde vor Beginn der Messungen unter Spannung gehalten, so daß sich ein stationärer Zustand der Strömung auf dem Isolator einstellen konnte.

Der Reststrom im leeren Gehäuse entsprach im Mittel 0,0075 Volt Spannungsabnahme pro Sekunde, was bei Vernachlässigung des Leitvermögens des Bernsteinisolators einer Produktion von etwa 20 Ionen eines Vorzeichens pro ccm und Sekunde entspricht. Nur an zwei Tagen war ein Isolationsfehler bemerkbar, der leicht durch Einführung einiger Stücke Natrium in das Gehäuse beseitigt werden konnte.

Resultate.

Die ersten Versuchsreihen sollten darüber Aufschluß geben, inwiefern die auf den einzelnen Intervallen der inneren Elektrode niedergeschlagene Aktivität als homogen zu betrachten sei. Leider erwies sich die nach zweistündiger Exposition mit 390 Volt Potentialdifferenz zwischen den Elektroden und einer Luftgeschwindigkeit von 1350 cm/sek. erhaltene Aktivierung der einzelnen Längenintervalle so schwach, daß nach einer Exposition nur immer ein Intervall untersucht werden konnte. Der zeitliche Verlauf der Aktivität entsprach merklich dem für die Induktionen des Radiums nach zweistündiger Exposition bekannten; an einzelnen Tagen schien der Abfall etwas langsamer stattzufinden, was wahrscheinlich durch Anwesenheit von Thorinduktionen bedingt war. Der weitaus größte Anteil der erhaltenen Aktivierung war jedoch auf Rechnung der Radiuminduktionen zu setzen.

Bei den weiteren Versuchsreihen galt es, die mittleren Flächendichten der einzelnen Intervalle miteinander zu vergleichen. Es wurden bisher zwei Serien von Versuchsreihen durchgeführt, bei denen die Expositionszeit (2 Stunden) und die Spannungsdifferenz im Zylinderkondensator 390 die gleiche war, während als Luftgeschwindigkeiten solche von 1350 cm/sek. und 675 cm/sek. benutzt wurden. Um den zeitlichen Verlauf der Aktivitäten zu eliminieren, wurden die beiden zu vergleichenden Intervalle stets mehrfach abwechselnd gemessen und der aus zwei Messungen an dem einen Intervall interpolierte Wert mit dem dazwischenliegenden für das andere Intervall verglichen. Bei jeder Versuchsreihe konnten im allgemeinen nur zwei Intervalle miteinander verglichen werden; nur an Tagen mit besonders starkem Induktionsgehalt gelangen noch Kontrollvergleichungen mit einem dritten Intervall.

Stets wurde die mittlere Flächendichte des vordersten Längenintervalls als Vergleichswert benutzt und die für die anderen Intervalle erhaltenen mittleren Flächendichten in Prozenten dieser Flächendichte ausgedrückt. Wenn die Intensität der Aktivierung eines Intervalles zu schwach war, um mit hinreichender Genauigkeit gemessen zu werden, wurde eine Gruppe von 2 oder 3 benachbarten Intervallen gemeinsam untersucht. So wurden für die Intensitätsverteilung der induzierten Aktivität auf der inneren

Elektrode die beiden folgenden Diagramme erhalten, in welchen als Abszissen von links nach rechts die mit den Zahlen 1—11 bezeichneten Längenintervalle der inneren Elektrode (Nr. 1 ist das vorderste, dem Luftstrom zuerst ausgesetzte Intervall), und als Ordinaten die mittleren Flächendichten der Induktion in Bruchteilen der Flächendichte des Intervalls Nr. 1 aufgetragen sind.

Fig. 5.

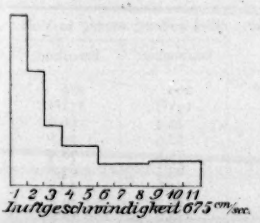


Fig. 6.

Die Diagramme stellen natürlich nicht einen unstetigen Verlauf der spezif. Geschwindigkeit dar, es sind lediglich die für jedes Intervall bezw. jede Gruppe von Intervallen gemessenen Flächendichten als konstante Mittelwerte für die betreffende Strecke der Abszissen aufgetragen. Wie die Diagramme zeigen, konnten die Intervalle 5 und 6, 7 und 8, 9, 10, 11 bei der ersten Serie von Versuchsreihen und die Intervalle 4 und 5, 6, 7, 8; 9, 10, 11 bei der zweiten Serie infolge zu geringer Aktivität nur gemeinsam untersucht werden. Da die Intensitätsverteilung leider nicht für eine Exposition auf der ganzen Länge der Elektrode durchgemessen werden konnte, sondern dazu mehrere Expositionen von verschiedenen Tagen benutzt werden mußten, lassen die Diagramme keinen Schluß zu auf die relative Verteilung der spezifischen Zahlen der Träger von verschiedener spezif. Geschwindigkeit; diese scheinen an den verschiedenen Versuchstagen Veränderungen unterlegen zu haben. Da, wo für ein Intervall zwei verschiedene Bestimmungen des Intensitätsverhältnisses vorlagen, sind in den Diagrammen die Mittelwerte eingetragen; die Abweichungen erreichen 20%. Trotz dieser Schwankungen der Anteile der spezifischen Zahlen der Träger läßt sich mit Sicherheit der Gang der spezifischen Geschwindigkeit übersehen: schon von dem ersten zum zweiten Intervall zeigt sich eine starke Abnahme der Flächendichte, die bei dem ersten Diagramm bis zu den letzten Intervallen andauert, bei dem zweiten, mit der Hälfte der Luftgeschwindigkeit aufgenommenen Diagramme, schon in der Mitte der Elektrode aufhört. Ob die auf den letzten Intervallen der Elektrode vorgefundene Konstanz der Flächendichte noch einer Trägerart von geringer spezif. Geschwindigkeit zuzuschreiben ist oder schon ausschließlich von den innerhalb des Zylinderkondensators neu erzeugten Trägern herrührt, wird sich erst entscheiden lassen, wenn weitere Versuche mit stärkeren elektrischen Feldern oder geringeren Luftgeschwindigkeiten vorliegen. Ob schon innerhalb des ersten Intervalles eine Abnahme der Flächendichte bei den bisher benutzten Versuchsbedingungen stattfindet, konnte auch noch nicht festgestellt werden; zu diesem Zweck werden die Versuchsbedingungen noch nach der Seite stärkerer Luftgeschwindigkeiten oder schwächerer Felder variiert werden müssen. Aus dem vorliegenden Material ergibt sich die bemerkenswerte Tatsache, daß unter den positiv geladenen Trägern der Radiuminduktionen in der Atmosphäre spezifische Geschwindigkeiten vorkommen, die zwischen 5250 elektrost. und dem zehnten Teil dieses Wertes variieren. Die maximalen, bisher gemessenen spezifischen Geschwindigkeiten haben also etwa den zehnfachen Wert der spezifischen Geschwindigkeit der negativen Ionen in Luft von Atmosphärendruck, die bisher gemessenen kleinsten spezifischen Geschwindigkeiten der Induktionsträger sind von der gleichen Größenordnung wie diese.

Als weiteres Resultat ist hervorzuheben, daß die angewandte Aspirationsmethode neben der quantitativen Messung der spezifischen Geschwindigkeit der Induktionsträger auch eine quantitative Messung des Emanationsgehaltes der Atmosphäre erlaubt, insofern die bei hinreichend starken Feldern und geringer Luftgeschwindigkeit im Zylinderkondensator auf dem hinteren Teile der inneren Elektrode niedergeschlagene Flächendichte der Aktivität ein Maß für die pro Zeit- und Volumeneinheit aus der Emanation entstehenden Induktionsträger gibt.

Die beschriebenen Versuche hatte ich in den Monaten Juli bis Oktober 1904 bereits ausgeführt, als ich von den Untersuchungen E. Rutherfords[1]) Kenntnis erhielt, welche sich auf die spezifische Geschwindigkeit der Induktionsträger von Thor und Radium beziehen; die von Rutherford verwendete Methode ist

1) E. Rutherford, Radioactivity, S. 284—287, 1904.

die sogenannte „Wechselstrom-Methode". Ich hielt es nicht für überflüssig, meine bisherigen Untersuchungen zn veröffentlichen, weil sie sich auf die bisher nicht untersuchten atmosphärischen Induktionen beziehen und auch nach der methodischen Seite mancherlei Neues erbracht haben. Überdies erlaubte meine Methode, die nebeneinander vorkommenden spezifischen Geschwindigkeiten gesondert zu messen und nicht nur einen Mittelwert für diese zu erhalten. Für die Thorinduktion erhielt Rutherford in Luft von Atmosphärendruck nahezu die spezifische Geschwindigkeit der positiven Ionen; für die Radiuminduktionen waren die erhaltenen Resultate unsicherer. Meine Versuche lassen die Ursache der Schwierigkeit darin erkennen, daß nicht nur die spezifische Geschwindigkeit der Träger der Radiuminduktionen zwischen verhältnismäßig weiten Grenzen variiert, sondern auch die verschiedenen Geschwindigkeiten sich im allgemeinen auf zeitlich veränderliche Beträge von spezifischen Zahlen der Träger verteilen. Inwiefern diese Verhältnisse durch den Zustand des Gases bedingt sind, in welchem sich die Induktionsträger bewegen, gedenke ich unter Verwendung einer vervollkommneten Versuchsanordnung zu untersuchen; auch sollen die Arbeiten auf die atmosphärischen Thorinduktionen (und die vielleicht vorhandenen negativ geladenen) Induktionsträger ausgedehnt werden, bei denen weit einfachere Verhältnisse vorzuliegen scheinen als bei den Radiuminduktionen.

Die Kosten der Untersuchung wurden zum Teil aus Mitteln bestritten, welche die Kgl. Ges. d. Wiss. zu Göttingen zur Verfügung gestellt hatte.

Göttingen, Geophysik. Institut, Juni 1905.

(Eingegangen 29. Juni 1905.)

Die Charakteristik der unselbständigen Strömung in Luft nach der Beobachtung und nach der Rieckeschen Theorie.

Von T. Retschinsky.

Die Theorie der elektrischen unselbständigen Strömung in Gasen verfolgt den Zweck, verschiedene direkt meßbare Größen miteinander und mit Ionenkonstanten zu verknüpfen. Es sind von E. Riecke und J. J. Thomson allgemeine Differentialgleichungen aufgestellt, auf Grund derer verschiedene Eigenschaften der Strömung sich quantitativ verfolgen lassen. Auch die Charakteristik der Strömung (Volt-Ampere-Kurve) ist unter diesen Gesichtspunkten behandelt worden. E. Riecke, J. J. Thomson und G. Mie haben Formeln aufgestellt, welche die Abhängigkeit der Stromstärke von der Elektrodenspannung darstellen sollen. Die Formel von E. Riecke[1]), die allgemeiner ist, wie die beiden anderen, da sie auch die Diffusion berücksichtigt, lautet folgendermaßen:

$$\frac{R}{V^2} = \frac{C-c}{c^2}\left[1 - 0{,}2\,\frac{C-c}{c}\right] \qquad (I)$$

wo V Elektrodenspannung, c beobachtete Stromstärke, C Sättigungsstromstärke und R eine aus den Ionenkonstanten zusammengesetzte Konstante ist, die auch vom Elektrodenabstand und Elektrodenquerschnitt abhängt.

Die Beobachtungen, die vom Verfasser[2]) bei der Bestimmung des Koeffizienten der Wiedervereinigung der Ionen angestellt worden sind, lassen sich zur Prüfung der Übereinstimmung der Formel I mit dem Experiment verwerten.

Tabelle I.

Elektrodenabstand $l = 1{,}0$ cm.
Elektrodenquerschnitt $Q = 200$ qcm.

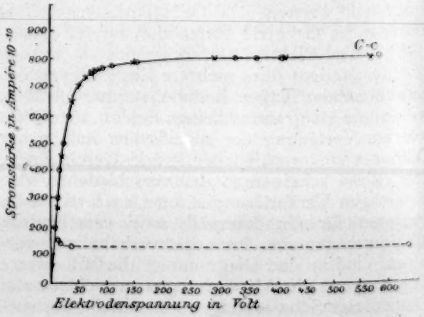
Stromstärke in Ampere	Elektrodenspannung in Volt		Differenz in Proz.
	beobachtet	berechnet	
799.10^{-10}	294	286	−2,7
789	151[3])	151[3])	0
763	83,4	86,6	+3,9
756	77,5	79,1	+2,1
755	75,5	78,5	+4,0
734	63,5	63,8	+0,5
703	51,6	50,8	−1,5
655	39,7	39,4	−0,7
453	19,1	18,8	−1,5
263	9,9	10,5	+6,1

Die Tab. I gibt in der ersten Kolonne die beobachtete Stromstärke, in der zweiten die dabei beobachtete Elektrodenspannung, in der dritten die aus der Formel I berechnete Spannung.

1) Riecke, Göttinger Nachr. math.-phys. Kl., S. 336, 1903.

2) T. Retschinsky, Über die Wiedervereinigung der Ionen in Luft. Göttinger Dissertation. 1905.

3) Der Wert, welcher der Berechnung zugrunde gelegt wurde.



Die Figur stellt die theoretische Volt-Ampere-Kurve von Riecke dar. Physikalische Bedeutung hat der Zweig, der zwischen $c = C$ und c circa $^1/_5\,C$ liegt. Bei $c = {}^1/_6\,C$ wächst die Spannung ins Unendliche. Kreuze bedeuten die beobachteten Punkte, Kreise die berechneten.

Man kann aus der Figur schließen, daß die Formel von Riecke für die Abhängigkeit der Stromstärke von der Spannung im Falle der unselbständigen Strömung im Bereiche zwischen $c = C$ und $c = {}^1/_5\,C$ mit verhältnismäßig großer Genauigkeit die wirklichen Verhältnisse darstellt.

Die Kurve für die Ströme, die unter $^1/_5\,C$ liegen, stellt nahezu eine gerade dar, das heißt, kleine Ströme gehorchen dem Ohmschen Gesetze. Aus der Figur läßt sich berechnen, daß der spezifische Widerstand der Luft, die durch Radiumchlorid ionisiert ist, der Größenordnung nach $\varrho = 1{,}5 \cdot 10^6$ Ohm pro ccm beträgt, und mit wachsender Stromstärke wächst. Setzen wir diesen Wert in die Formel für kleine Spannungen von G. Mie[1]) ein:

$$V = \varrho \cdot Q^2) \cdot c\left[1 + 1{,}04\,\frac{c}{C}\right] = 3 \cdot 10^8 \; c\left[1 + 1{,}04\,\frac{c}{C}\right] \quad \text{(II)}$$

so kommen wir zu folgenden Resultaten:

Tabelle II.

Stromstärke in Ampere	Spannung in Volt		Differenz in Proz.
	beobachtet	berechnet	
$64 \cdot 10^{-10}$	2,042	2,076	1,6
$33 \cdot 10^{-10}$	1,021	1,032	1,1
$13{,}3 \cdot 10^{-10}$	0,408	0,406	−0,5
$6{,}6 \cdot 10^{-10}$	0,204	0,200	−2,0

Man ersieht aus der Tab. II, daß die Differenz zwischen beobachteten und berechneten Werten für die Spannung einen Gang aufweist.

[1]) G. Mie, Ann. d Phys. **13**, 877, 1904.
[2]) Elektrodenquerschnitt $Q = 200$ qcm. Elektrodenabstand $l = 1{,}0$ cm.

Göttingen, Juni 1905.

(Eingegangen 19. Juni 1905.)

Über das Verhältnis der Ionenbeweglichkeiten in schlechtleitenden Flüssigkeiten und seine Beziehung zu den polaren Unterschieden bei der elektrischen Entladung.

(II. Mitteilung.)

Von Karl Przibram.

In einer früheren Mitteilung[1]) habe ich Versuche angegeben, welche zeigen sollen, daß in denjenigen Substanzen (Gasen und Flüssigkeiten), in denen sich die negativen Ionen rascher bewegen als die positiven, das positive Büschel überwiegt, und umgekehrt. Als Maß für das Verhältnis der Ionenbeweglichkeiten in schlechtleitenden Flüssigkeiten wurde das Verhältnis der Potentialabfälle an den entsprechenden Elektroden genommen, wie es sich beim Durchgange des Stromes einer Akkumulatorenbatterie aus Potentialmessungen an einer Sonde in der Nähe der Elektroden ergab. Bei den im folgenden beschriebenen Versuchen wurde eine bewegliche Sonde benutzt, die in einem fast ganz abgeschlossenen Glasgefäß zwischen parallelen Platinplattenelektroden von 30 mm Durchmesser und 15 mm Abstand verschoben werden konnte. Als Maß für das Beweglichkeitsverhältnis wurden jetzt nicht die nur wenig genau bestimmbaren Abfälle an den Elektroden gewählt, sondern die Lage jenes Punktes, in dem die gerade Verbindungslinie der Ausgangspunkte der Potentialkurve diese selbst schneidet. Je weiter dieser Schnittpunkt von einer Elektrode entfernt liegt, um so rascher bewegt sich im Verhältnis das Ion vom Vorzeichen der Elektrode. Die Versuche wurden mit einer Reihe von Alkoholen und Fettsäuren angestellt und ergaben die Richtigkeit des eingangs aufgestellten Satzes für diese Substanzen. Bevor ich jedoch die neuen Resultate angebe, muß ich einiges über die in der früheren Mitteilung angeführten Zahlen für Toluol, Benzol und Pentan nachtragen. Es sind dies die am schlechtesten leitenden Substanzen, die untersucht wurden. Es zeigte sich nun, daß in ihnen (es wurde hauptsächlich Toluol untersucht) das Verhältnis der Ionenbeweglichkeiten in hohem Grade von der Reinheit abhängt, während stets die positiven Funken (Büschel) länger sind als die negativen. Es ergab sich das Verhältnis von Kathodenfall zu Anodenfall z. B.

für käufliches Toluol, roh zirka 1,9
„ „ „ destilliert „ 0,7
„ „ roh,
einige Tage offen an der Luft gestanden . . . . „ 0,7
„ Toluol von Kahlbaum, roh „ 0,9
„ „ „ „ destilliert „ 0,5

Bei besser leitenden Substanzen, wie den Alkoholen, zeigten sich keine solchen Abweichungen und das Verhältnis des Kathodenfalles zum Anodenfall entsprach stets dem Verhältnis: Länge der positiven Funken zur Länge der negativen. Es erscheint ganz verständlich, daß, je schlechter die Flüssigkeit an sich leitet, desto stärker fremde Beimengungen die Bestimmung der Beweglichkeit beeinflussen werden. Die Funkenlänge dagegen wird, da bei der Entladung jedenfalls die große Mehrzahl der

[1]) Diese Zeitschr. **6**, 276, 1905.

Substanz	Entfernung d. Schnittpunktes von der Kathode / Entfernung d. Schnittpunktes von der Anode	Positive Funken	Negative Funken	Positive Funken / Negative Funken
Butylalkohol, normal	0,22	51	68	0,75
„ iso	0,27	49	74	0,66
„ sekundär	0,68	49	65	0,75
„ tertiär	5,04	63	34	1,85
Amylalkohol, iso	0,39	48	65	0,73
„ tertiär	1,79	49	42	1,17
Heptylalkohol	0,45	31	51	0,60
—	—	—	—	—
Essigsäure	0,39	8	25	0,32
Propionsäure	0,83	10	13	0,70
Buttersäure	0,80	11	11	1,00
„ iso	1,48	27	15	1,75
Valeriansäure, iso	1,38	11	11	1,00

Ionen aus der großen Masse der Flüssigkeit selbst gebildet wird, von der Verunreinigung weniger beeinflußt werden. Es läßt sich nun direkt zeigen, daß die disruptive Entladung solche Ionen erzeugt, deren Beweglichkeitsverhältnis dem Verhältnis der Schlagweiten entspricht. Läßt man nämlich durch Toluol einige Funken hindurchschlagen und bestimmt dann das Verhältnis von Kathodenfall zu Anodenfall, so erhält man in der Tat Werte, die in die loc. cit. angegebene Reihe hineinpassen (1,2 bis 1,4). Nach längerem Stehen kehrt sich das Verhältnis wieder um, wohl infolge der Wiedervereinigung der gebildeten Ionen. Es dürfen bei diesem Versuche die Entladungen nicht bis zur Bräunung der Flüssigkeit fortgesetzt werden, da dann wieder Unregelmäßigkeiten auftreten.

Eben wegen des großen Einflusses geringer Verunreinigungen in sehr schlecht leitenden Flüssigkeiten habe ich mich im folgenden nur mit den besser leitenden Alkoholen und Fettsäuren befaßt. Die Substanzen wurden von Kahlbaum bezogen, die Alkohole über Pottasche getrocknet und destilliert, Essigsäure auskristallisiert, die höheren Säuren bloß destilliert. Die hier wiedergegebenen Zahlen sind die Mittelwerte mehrerer Messungen, wobei auch die Stromrichtung im Apparat gewechselt wurde. Die Funkenlängen (in mm) wurden, wie in einer früheren Mitteilung [1]), zwischen einer Spitze und einer Platte, nur mit einem etwas anderen Apparate bestimmt. Um sie mit den früheren Zahlen vergleichbar zu machen, wurden sie mit dem Faktor 1,9 multipliziert.

Auffallend erscheint die Umkehrung des Beweglichkeitsverhältnisses in den tertiären Alkoholen und den Iso-Säuren, in denen die negativen Ionen rascher zu wandern scheinen, während in den anderen Alkoholen und Säuren die positiven leichter beweglich sind. Ganz der Behauptung entsprechend sind in ersteren die positiven Funken die längeren, in letzteren die negativen. Diese Übereinstimmung zeigt, daß in diesen Flüssigkeiten die Entladung von denselben Ionen bestimmt wird, die auch die Ursache ihrer Leitfähigkeit sind, was bei den sehr schlecht leitenden Flüssigkeiten, wie oben gezeigt, nicht immer der Fall ist. Die Frage, ob diese Ionen den Alkoholen und Säuren selbst oder Verunreinigungen zuzuschreiben sind, muß noch offen gelassen bleiben, obwohl die auffallende Abhängigkeit von der Konstitution eher für ersteres spricht.

Die in den reinen Alkoholen bestimmten Funkenlängen weichen von den früher in den nicht so reinen Substanzen erhaltenen etwas ab. So ergab reiner Isobutylalkohol, im Gegensatze zu den früheren Versuchen, längere Funken als Isoamylalkohol, wodurch die Regel, daß die elektrische Festigkeit in einer homologen Reihe mit wachsendem Molekulargewicht zunimmt, eine weitere Bestätigung erfährt. Diese Regel bewährt sich auch bei den Isosäuren und den negativen Funken in den normalen Fettsäuren. Bei den positiven Funken in den letzteren spielt offenbar, wie in der zuletzt zitierten Arbeit auseinandergesetzt wurde; noch die Leitfähigkeit mit, die, mit fallendem Molekulargewicht zunehmend, eine Abnahme der Funkenlänge bewirkt. Die Resultate von Versuchen mit Methyl- und Äthylalkohol und mit Ameisensäure wurden wegen der großen, störend wirkenden Leitfähigkeit dieser Substanzen hier nicht aufgenommen.

(Eingegangen 6. Juli 1905.)

1) Diese Zeitschr **5**, 574, 1904. Wien. Ber. **113**, 1303, 1904.

Über den magnetischen Effekt der elektrischen Verschiebung.

Von J. B. Whitehead.

I. Teil.

In zwei früheren Arbeiten [1]) habe ich eine Reihe von Versuchen beschrieben, welche ich angestellt hatte, um die Gültigkeit der Maxwellschen Annahme zu prüfen, daß in Be-

1) Magnetic Effect of Electric Displacement. Report to Carnegie Institution, 1904. — Diese Zeitschr. **4**, 229, 1903; **5**, 300, 1904.

gleitung einer elektrischen Verschiebung in einem Dielektrikum ein magnetischer Effekt auftritt. Kolacek[1]) hat gezeigt, daß die Versuchsergebnisse mit der Maxwellschen Theorie im Einklang standen. Auf Grund der Symmetrie der Maxwellschen Gleichungen muß man auch das Auftreten eines elektrischen Effektes oder einer elektrischen Kraft als Begleiterscheinung einer magnetischen Verschiebung (wenn man diese analoge Bezeichnungsweise anwenden darf) erwarten. Bei meinen Versuchen war nun, wie Kolacek gezeigt hat, die auf das Dielektrikum wirkende resultierende mechanische Kraft

$$\frac{K}{4\pi v}\frac{\partial}{\partial t}ZM;$$

hier bedeutet K die Dielektrizitätskonstante, v das Verhältnis der Einheiten in den beiden Maßsystemen, Z die elektrische Intensität in elektrostatischen und M die magnetische Intensität in elektromagnetischen Einheiten. Bei meinen Versuchen waren nun sowohl Z als auch M periodische Funktionen mit einer Phasendifferenz von 90°; der Mittelwert der Kraft über eine halbe Periode war daher Null, und somit trat keine Bewegung des Dielektrikums auf. Dieses Ergebnis ist dann ein Beweis für das Vorhandensein des elektrischen Effektes des „magnetischen Verschiebungsstromes", sofern der magnetische Effekt der elektrischen Verschiebung zugestanden wird. Einen Beweis für das Vorhandensein des letzteren hat kürzlich Eichenwald[2]) gegeben, wenngleich viele andere Forscher ihn mit negativem Erfolg gesucht haben. Weitere Beweise erscheinen daher wünschenswert, und so unternahm ich denn diese Arbeit mit der Absicht, die beiden Effekte unabhängig voneinander zu beobachten.

Um direkt den magnetischen Effekt der dielektrischen Verschiebung zu zeigen, entwarf ich die folgende Versuchsanordnung:

Wird ein Teil eines Dielektrikums einem elektrischen Wechselfelde ausgesetzt, so werden in dem Dielektrikum wechselnde Verschiebungsströme erregt werden. Ist nun das Dielektrikum in geeigneter Weise von einem Magnetkreis umgeben, so wird in diesem eine wechselnde magnetische Induktion erregt werden, und wenn dieser Magnetkreis mit einer Anzahl von Drahtwindungen umgeben ist, so wird in diesen Windungen eine wechselnde elektromotorische Kraft induziert werden, welche ihrerseits wieder einen Strom erzeugen kann. Man kann den Wert dieses Stromes berechnen und messen. In der ausgeführten Konstruktion war das Dielektrikum ein Paraffinzylinder. Die elektromotorische Kraft wurde den Elektroden zugeführt, welche aus kreisförmigen Messingplatten an den Endflächen des Zylinders bestanden. Der Zylinder war konzentrisch von einem aus Scheiben von weichem Eisen lamellar zusammengesetzten Magnetkreis umgeben; um den so gebildeten festen Eisenring war eine Wicklung gelegt, welche als die Sekundärwicklung bezeichnet werden mag. Mit dieser Wicklung war das Meßinstrument in Serie geschaltet.

Eine Überschlagsrechnung ergab, daß man, um den erwarteten Effekt wahrzunehmen, die Abmessungen des Apparates groß zu wählen habe, und daß man ferner in der Lage sein müsse, sehr kleine Wechselstromwerte zu messen.

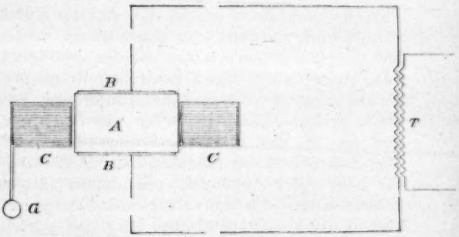


Fig. 1.

Die Figur zeigt den Apparat im mittleren Durchschnitt. A ist der Zylinder aus dem Dielektrikum, BB sind die Elektroden, CC bezeichnen den umgebenden Magnetkreis. Ist E die Potentialdifferenz zwischen den Elektroden und l die Länge des Zylinders, so ist E/l die an dem Dielektrikum wirkende elektrische Intensität. Die Dichte des Verschiebungsstromes ist dann:

$$q = \frac{K}{4\pi l}\frac{dE}{dt}.$$

Ist nun

$$E = E_m \sin\alpha,$$

so ist

$$q = \frac{K}{4\pi l} E_m \cos\alpha \frac{d\alpha}{dt},$$

und da

$$\frac{d\alpha}{dt} = 2\pi N,$$

so folgt:

$$q = \frac{K}{4\pi l} E_m 2\pi N \cos\alpha.$$

Ist a der Flächeninhalt des Zylinderquerschnittes, so ist der Gesamtstrom:

$$i = \frac{K E_m N a}{2l}\cos\alpha,$$

und wenn E_m in Volt und i in Amp. ausgedrückt wird:

1) Diese Zeitschr. **5**, 45, 1904.
2) Ann. d. Phys. (4) **6**, 1903.

$$i = \frac{K E_m N a 10^8}{2 l (3 \cdot 10^{10})^2 \cdot 10^{-1}} \cos \alpha.$$

Bei den Versuchen war nun:

$$K = 2,$$
$$E_m = \sqrt{2} \cdot 25000,$$
$$N = 133,$$
$$a = \pi \cdot 19{,}25^2 = 1164 \text{ cm}^2,$$
$$l = 20 \text{ cm}.$$

Somit war die maximale Stromstärke:

$$i = \frac{2 \cdot 25000 \cdot 133 \cdot 1164 \cdot 10^8 \sqrt{2}}{2 \cdot 9 \cdot 10^{19} \cdot 20} = 3{,}03 \cdot 10^{-4} \text{ Amp.},$$
$$i_{eff} = 2{,}15 \cdot 10^{-4} \text{ Amp.}$$

Der magnetische Effekt dieses Stromes in einem umgebenden Magnetkreis wird von der Stromverteilung im Dielektrikum abhängen. Die nächstliegende Annahme ist die, daß der Effekt derselbe ist, als wenn der ganze Strom in der Mitte, das heißt auf der Achse des Zylinders, konzentriert wäre. Dann kann man die magnetische Intensität in irgendeiner Entfernung von dieser Achse berechnen unter der Annahme, daß die zu den Elektroden führenden Zuleitungsdrähte und das Dielektrikum einem längs der Achse des Apparates orientierten langen geraden Konduktor äquivalent sind. Demgemäß wurden die Zuführungsdrähte lang und gerade gewählt. Wir haben dann:

Maximalwert von H, der magnetischen Kraft in einem Radius von 20 cm:

$$\frac{2i}{20} = 3{,}03 \cdot 10^{-6},$$

in einem Radius von 40 cm:

$$H = 1{,}51 \cdot 10^{-6}.$$

Bei der ausgeführten Konstruktion bestand der Magnetkreis aus ausgeglühten ringförmigen Armatur-Eisenblechen von 41,4 cm innerem und 82,8 cm äußerem Durchmesser. Nachdem die Bleche aufgeschichtet und zusammengepreßt waren, war die Höhe 15,5 cm; der Querschnitt betrug somit 320 cm². Das Gewicht betrug 900 Pfund englisch (408,3 kg. Der Übers.). Als Durchschnittswert für H kann man dann $2{,}26 \cdot 10^{-6}$ annehmen. Die Zuleitungen zu den Elektroden verliefen beiderseits 100 cm weit geradlinig. Sie bogen dann in rechtem Winkel um und führten parallel miteinander zu dem 5 m entfernten Transformator. Es läßt sich leicht zeigen, daß der Korrektionsfaktor für diese Abweichung von einem unendlich langen geraden Konduktor nur $0{,}09 \frac{i}{r}$ beträgt für die magnetische Kraft, wie sie sich aus dem Ausdruck $H = \frac{2i}{r}$ berechnet. Der Mittelwert ist also $H = 2{,}09 \frac{i}{r}$. Setzt man die oben gegebenen Werte für i und r ein, so wird der Mittelwert

$$H = 2{,}36 \cdot 10^{-6},$$

also die gesamte magnetische Induktion

$$= 2{,}36 \cdot 10^{-6} \cdot \mu \cdot 320.$$

Angaben über die Permeabilität weichen Eisens in Lamellen bei so niedrigen Werten der magnetischen Intensität sind nur spärlich vorhanden.

Werte von μ für kleine Magnetisierungskräfte sind bestimmt worden von Baur[1]) und Lord Rayleigh.[2]) Letzterer setzte das Feld von $4 \cdot 10^{-2}$ bis auf $4 \cdot 10^{-5}$ herab und zeigte, daß innerhalb dieses ganzen Gebietes μ konstant ist. Es sind keine Anzeigen dafür vorhanden, daß μ sich für Werte von H verändern würde, die noch näher an O liegen. Dieser Wert beträgt für weiches Eisen, mit konstanter magnetischer Kraft an Barren bestimmt, 183. Ewing hat festgestellt, daß bei Lamellenstruktur keine, oder doch nur geringe Viskosität oder Verzögerung bei kleinen Kräften auftritt.

Nehmen wir diesen Wert an, so haben wir:

$$\text{Gesamtinduktion} = 2{,}36 \cdot 10^{-6} \cdot 320 \cdot 183$$
$$= 1{,}35 \cdot 10^{-1}.$$

Den magnetischen Kreis umgab vollständig eine Sekundärwicklung von 966 Windungen aus der Drahtsorte Nr. 18 B. & S. Später wurde über diese eine ähnliche Wicklung von der gleichen Windungszahl so gewickelt, daß beide Spulen im gleichen Punkte anfingen und endigten. Die in einer dieser Wicklungen induzierte elektromotorische Kraft ist:

$$E = 1{,}35 \cdot 10^{-1} \cdot \sqrt{2} \cdot \pi \cdot 133 \cdot 10^{-8} \cdot 966 \text{ Volt}$$
$$= 7{,}8 \cdot 10^{-4} \text{ Volt}.$$

Kann man einen durch diese elektromotorische Kraft hervorgerufenen Strom messen, so hat man einen Beweis für die Gültigkeit der den schon angeführten Annahmen zugrunde liegenden Theorie. Als Meßinstrument benutzte ich das Rubenssche Vibrationsgalvanometer.[3]) Das Prinzip dieses Instrumentes beruht auf der Abgleichung der Spannung eines gestreckten Drahtes, so daß die Frequenz der Eigenschwingungen desselben die gleiche ist wie die des elektrischen Kreises. Der Draht trägt eine Reihe kleiner Magnete; dieselben entsprechen Polen mit Spulen, die von dem zu messenden Strome durchflossen werden. Die Amplitude der Schwingung wird beobachtet an dem Licht, welches von einem kleinen an dem Drahte befestigten Spiegel reflektiert wird, und ist ein Maß für die Stromstärke. Das Instrument wurde von W. Oehmke-Berlin bezogen und war nach den besonderen Angaben gefertigt worden, die in der bereits angezogenen Veröffentlichung enthalten sind. Die Kalibrierung geschah nach folgender Methode. Eine alternierende elektromotorische Kraft von geringem Betrage und von

1) Wied. Ann. 11, 399, 1880.
2) Phil. Mag., März 1887.
3) Wied. Ann. **56**, 27, 1895.

der anzuwendenden Frequenz wurde an einen induktionsfreien Widerstand von 2000 Ohm gelegt. An zwei um 200 Ω auseinander liegenden Punkten wurden Verbindungen angelegt und zwischen dieselben das Galvanometer in Serie mit einem großen induktionsfreien Widerstand von 10000 bis 100000 Ohm geschaltet. Das Galvanometer wurde auf die Frequenz synchron abgestimmt, und es wurde abgelesen, um wieviel verbreitert ein von einem Spalt stammendes Lichtbündel entsprechend den verschiedenen Werten der Stromstärke von dem Spiegel reflektiert wurde. Als Lichtquelle benutzte ich den Faden einer Glühlampe. Die Verbreiterung des Bildes wurde an einem Okularmaßstabe im Fernrohr bestimmt, welcher Ablesungen auf ein Zehntel gestattete. Die Kalibrierungskurve, wie sie durch die Zahlen der folgenden Tabelle gegeben ist, erstreckt sich über das ganze Gebiet der Experimente. Der Widerstand des Instrumentes betrug 215 Ohm.

Amp.	Ablenkung
$4 \cdot 10^{-5}$	4,2
$2 \cdot 10^{-5}$	2,1
$1 \cdot 10^{-5}$	1,2
$6{,}6 \cdot 10^{-6}$	0,95
$5 \cdot 10^{-6}$	0,8
$4 \cdot 10^{-6}$	0,7
$3{,}3 \cdot 10^{-6}$	0,6
$2{,}8 \cdot 10^{-6}$	0,55
$2{,}5 \cdot 10^{-6}$	0,5
$2{,}2 \cdot 10^{-6}$	0,45
$2 \cdot 10^{-6}$	0,4.

Wird nun das Instrument mit der Sekundärwindung ($r = 13$ Ohm) verbunden, so muß nach den obigen Berechnungen die Größenordnung des resultierenden Stromes $\frac{7{,}8 \cdot 10^{-5}}{228} = 3{,}42 \cdot 10^{-6}$ Amp. betragen.

Die Versuche.

Die Stromquelle war ein achtpoliger, einphasiger Alternator, welcher bei einem Effektivwerte von 110 Volt eine angenäherte Sinuskurve für die elektromotorische Kraft lieferte. Sie wurde direkt mit einem mit 110 Volt mittlerer Spannung gespeisten Gleichstrommotor verbunden. Ein schweres Schwungrad auf der Achse und Rheostaten im Felde und der Armatur des Motors, welche vom Standpunkte des Beobachters aus kontrolliert wurden, ließen eine genügende Konstanz und Kontrolle der Frequenz erreichen. Die Wechselstrommaschine speiste die Primäre eines Hochspannungstransformators vom Übersetzungsverhältnis 100:25000, dessen Hochspannungsklemmen mit den Elektroden verbunden waren. Der Transformator befand sich 5 m vom eigentlichen Apparat entfernt, und die Verbindungsdrähte liefen parallel und 2,5 cm voneinander entfernt, bis sie die Achse des Apparates schnitten. Die untere Elektrode trug das Paraffin, die obere lag auf demselben. Das Galvanometer war nahe am magnetischen Kreis, und geeignete Kontrollversuche zeigten, daß es frei war von elektromagnetischen Störungen, welche herrührten vom Alternator, vom Transformator usw. Zwischen die Sekundärwicklung und das Galvanometer wurde ein Umschalter eingeschaltet, desgleichen ein einpoliger Schlüssel, welcher nur eine Seite des Stromkreises öffnete. Ein kleines Solenoid wurde in die Nähe des Galvanometers gebracht und von der Maschine gespeist; es diente zur Kontrolle für den Synchronismus und die Konstanz der Versuchsbedingungen. Die beschriebene Apparatur gestattet eine vielfache Abänderung der Versuchsbedingungen mit verschiedenen zu erwartenden Werten der Stromstärke im Galvanometer. Als Dielektrikum können Paraffin und Luft benutzt werden. Die Sekundärspulen können einzeln, hintereinander und parallel geschaltet werden. Verschiedene Werte für die Spannung und die Frequenz benutzte ich nicht, da mit diesen Werten sich wahrscheinlich auch die Fehler ändern würden.

Die folgende Tabelle gibt eine typische Reihe von Ablesungen wieder.

Diese Ablesungswerte blieben unverändert, wenn die Galvanometerzuleitungen vertauscht wurden. Primärspannung 113. Frequenz 130.

Die Beobachtungsmethode war die folgende: mittels des Rheostaten im Motorfelde brachte ich die Geschwindigkeit allmählich auf die gewünschte Frequenz. Diese zeigte sich durch die Verbreiterung des Bildes des Glühlampenfadens auf der Fernrohrskala. Ich ließ dann die Maschine frei laufen, und die Bedingung des vollkommenen Synchronismus blieb in der Regel während mehrerer Sekunden, oft auch länger, bestehen; sie pflegte dann einige Sekunden lang auszusetzen und darauf wiederzukehren. Die angegebenen Ablesungen re-

Sekundärspulen	Paraffin					Luft				
Spule Nr. 1, Nr. 2 geöffnet	0,8	0,8	0,9	0,8	0,82	0,6	0,6	0,6	0,5	0,57
„ „ 1, „ 2 geschlossen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
„ „ 2, „ 1 geöffnet	0,8	0,9	0,9	0,8	0,85	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
„ „ 2, „ 1 geschlossen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
„ „ 1 und Nr. 2 in Serie	1,3	1,3	1,3	1,4	1,32	0,9	0,9	0,9	0,8	0,87
„ „ 1 „ „ 2 parallel	0,7	0,75	0,8	0,8	0,76	0,5	0,5	0,5	0,6	0,52

präsentieren in jedem Falle die Beobachtungen von mindestens drei dieser wiederkehrenden Perioden des Synchronismus. Es wurden an verschiedenen Tagen Beobachtungen gemacht und zwischen je zwei Beobachtungsreihen das Paraffin zum Zwecke der Ablesung mit Luft entfernt. Diese Beobachtungen lieferten Ablesungen, welche mit denen in der Tabelle gut übereinstimmen.

Man ersieht, daß die mit Luft als Dielektrikum erhaltenen Werte durchgängig niedriger sind als die mit Paraffin gefundenen, wie es zu erwarten war. Die Werte differieren jedoch nicht im gleichen Verhältnis wie die Dielektrizitätskonstanten. Angesichts der Unsicherheit der Werte dieser Konstanten bei den angewandten Frequenzen und der Unsicherheit der Verteilung des Feldes in beiden Fällen erscheint diese Diskrepanz nicht schwerwiegend. Wichtiger jedoch ist die Tatsache, daß die Reihenschaltung der beiden Sekundärspulen nicht eine Verdoppelung des Wertes der für jede der beiden Spulen allein erhaltenen Ablesung herbeiführt, wenn der Wert auch merklich größer ist. Die Möglichkeit einer Erklärung ist gegeben durch die Art, in welcher die Windungen der beiden Spulen angeordnet sind. Wie schon erwähnt, waren diese beiden Spulen parallel in einer einzigen Lage gewickelt. Werden sie daher hintereinander geschaltet, so besteht zwischen jedem Drähtepaar die Hälfte der gesamten induzierten elektromotorischen Kraft. Dieser Unterschied im Potential wird die symmetrische und gleichmäßige Schwingung der auf der Sekundärspule induzierten elektrostatischen Ladungen zu stören suchen und so zu einem Äquivalent eines Stromes führen, welcher eine zweite induzierte elektromotorische Kraft in der Sekundärwicklung erzeugt. Dies wird bei Parallelschaltung nicht eintreten, eine Ansicht, welcher die Ablesungen entsprechen.

Daß diese elektrostatischen Ladungen keinen Fehler in den Ablesungen herbeiführen, zeigt sich an den Beobachtungen mit „geschlossenen" Spulen, welche in der Tabelle angegeben sind. Der Kurzschluß einer Spule vernichtete stets die elektromotorische Kraft in der anderen. Daraus erhellt, daß der Strom im Galvanometerkreis elektromagnetisch induziert und nicht elektrostatischen Ursprungs ist. Abgesehen von diesem Umstande gibt die symmetrische Form und Anordnung des Apparates keine Veranlassung zu einer unsymmetrischen Schwingung der induzierten Ladungen.

Schlußfolgerung.

Der für eine Spule mit Berücksichtigung der Versuchsbedingungen, d. h. 113 Volt und 130 Touren, berechnete Effekt ist $3{,}16 \cdot 10^{-6}$ Amp. Die Stromstärke, welche dem Mittelwert (0,82) der Ablenkungen für die Spule Nr. 1 nach den Angaben der Kalibrierungskurve entspricht, ist etwa $5{,}2 \cdot 10^{-6}$. Der beobachtete Effekt ist also von der gleichen Größenordnung wie der berechnete; durch die Unsicherheit der gemachten Annahmen kann die Differenz zwischen den numerischen Werten wohl erklärt werden.

II. Teil.

Kolacek hat folgende Modifikation meines früheren Versuches[1]) vorgeschlagen, um den elektrischen Effekt der magnetischen Verschiebung zu zeigen. Bringen wir das Dielektrikum in ein konstantes elektrisches Feld und ein dazu rechtwinkliges magnetisches Feld, und kehren wir dann plötzlich die Richtung des magnetischen Feldes um, so sollten wir nach der Maxwellschen Theorie erwarten, daß auf das Dielektrikum ein Kraftstoß wirkt. Der Ausdruck für die Kraft wird jetzt

$$\frac{K}{4\pi v} Z \frac{\partial}{\partial t} M,$$

denn Z ist eine Konstante, d. h. es ist kein elektrischer Verschiebungsstrom vorhanden. Dieses Experiment bietet nach Kolacek auch das Mittel zur Prüfung der von Lorentz vorgeschlagenen Modifikationen der Maxwellschen Theorie. Maxwell drückt den Wert des Verschiebungsstromes aus durch die Formel

$$\frac{K}{4\pi} \frac{\partial Z}{\partial t}$$

und sagt über den Mechanismus im Dielektrikum nichts aus, als daß das Anwachsen oder Nachlassen der elektrischen Spannung oder Polarisation in einem Dielektrikum von der spezifischen induktiven Kapazität K der magnetischen Wirkung nach äquivalent ist einem Strom von der Dichte

$$\frac{K}{4\pi}\left(\frac{\partial Z}{\partial t}\right).$$

Lorentz dagegen nimmt an, daß sich der Verschiebungsstrom aus zwei Teilen zusammensetzt, erstens der Polarisation des Äthers und zweitens den Verschiebungen der Atom- oder Ionenladungen innerhalb der Moleküle des Dielektrikums; diese Verschiebungen seien wirkliche Bewegungen von Ladungen und als solche äquivalent mit Strömen, und somit sei der Maxwellsche Ausdruck

$$\frac{K}{4\pi}\left(\frac{\partial Z}{\partial t}\right)$$

gleichbedeutend mit

$$\frac{1}{4\pi}\left(K_e + \Sigma c\right)\frac{\partial Z}{\partial t},$$

1) Diese Zeitschr. **4**, 229, 1903.

wo K_0 der Wert von K für den Äther und Σ_c die Summe über die molekularen Konvektionsströme ist. Diese Annahme gibt das Vorhandensein des magnetischen Effektes der elektrischen Verschiebung zu. Nun ist aber bei der vorgeschlagenen Versuchsanordnung, bei welcher nach Maxwell eine Ablenkung zu erwarten wäre, das elektrische Feld konstant, und die Verschiebungsströme fehlen. Nach Lorentz würde also nur eine Reaktion auf den Äther auftreten, welche keine Ablenkung des Dielektrikums verursachen würde.[1]) Diese Schlußfolgerung hat R. Gans[2]) in Zweifel gezogen. Er schließt nämlich, daß nach Lorentz eine Ablenkung zu erwarten sei, daß ihr Wert aber $\frac{K-1}{K}$ mal so groß sein würde, wie der aus der ursprünglichen Maxwellschen Theorie sich ergebende Wert.

Eine Berechnung der Größe des Kraftimpulses für einen spezifischen Fall ergab, wie weiter unten ausgeführt werden wird, daß derselbe so klein sein würde, daß seine direkte Beobachtung schwierig, wenn nicht gar unmöglich, sein würde. Nichtsdestoweniger entschloß ich mich, den Versuch unter möglichst günstigen Bedingungen auszuführen, um zu sehen, wie nahe ich unter möglichster Erhöhung der verschiedenen Faktoren an den berechneten Effekt würde herankommen können.

Der Apparat.

Als Dielektrikum verwandte ich einen Steinsalzwürfel von 1 cm Kantenlänge. Dieser war anfangs zwischen zwei vertikalen parallelen Platten von verschiedenem Potential aufgehängt. Es ergab sich, daß das Dielektrikum bei dieser Anordnung wegen der unregelmäßigen Feldverteilung keine Gleichgewichtslage besaß. Ich wandte deshalb die in Figur 2 angegebene Versuchsanordnung an. Das Dielektrikum D war an der Mitte eines leichten Glasstabes befestigt, welcher an zwei Seidenfäden derart aufgehängt war, daß er in der Achse einer kreisrunden Spule C hing, welche in der Figur im Durchschnitt gezeichnet ist. Über und unter dem Dielektrikum waren zwei parallele Messingplatten A und B angeordnet. Dieselben waren in geeigneter Weise unterstützt und isoliert und dienten als Elektroden. Auf diese Weise hing das Dielektrikum in einem von der Spule erzeugten magnetischen Feld und in einem von den Elektroden herrührenden zu dem magnetischen senkrechten elektrischen Feld. Das Experiment verläuft nun so, daß die magnetische Feldrichtung umgekehrt und dabei das elektrische Feld konstant gehalten wird. Dabei wird beobachtet, ob eine ballistische Ablenkung des Dielektrikums auftritt. Die an dem Dielektrikum wirkende Kraft ist, wie bereits festgestellt,

$$\frac{K}{4\pi} Z \frac{\partial}{\partial t} M,$$

wo K die Dielektrizitätskonstante, Z die elektrische und M die magnetische Feldstärke ist. Diese Größen wurden so groß wie möglich gewählt. Als Dielektrikum wurde Steinsalz gewählt und für K der Wert 5 angenommen. Die Spule zur Erregung des Magnetfeldes bestand aus 1200 Windungen der Drahtsorte Nr. 18 B. & S. Ihr innerer Durchmesser und ihre Länge betrugen beide 7,6 cm. Die magnetische Feldstärke im Mittelpunkt wurde mittels einer Prüfspule und Wechselstrom gemessen und zu 166 per Ampère gefunden. Bei den Versuchen wurde die Stromstärke, für welche eine obere Grenze durch die Erwärmung gegeben war, bis auf 6,5 Amp. getrieben. Daraus ergibt sich $M = 1080$. Ich versuchte verschiedene Wege, um die elektrische Intensität im Dielektrikum zu steigern. Ich bedeckte die obere und die untere Fläche des Dielektrikums mit Metallfolie, von welcher sich oben und unten je ein schmaler Streifen parallel zu dem tragenden Glasarm erstreckte. Ich entfernte die oben beschriebenen Elektroden und brachte sehr leichte Haken aus feinem Drahte so an, daß sie mit leichtem Drucke den von den Metallbelegungen des Dielektrikums sich erstreckenden Streifen anlagen und so diese Belegungen mit den Polklemmen einer Induktionsmaschine verbanden. Der geringe Druck, welcher von diesen Haken herrührte, war gleichgerichtet mit der erwarteten Ablenkung. Bei Ladung wurden die kleinen Haken statisch abgestoßen. Wurden sie schwerer gemacht, so setzte derselbe Effekt das Dielektrikum in Bewegung. Nach verschiedenen Modifikationen wurde diese Methode als nicht brauchbar verlassen. Ich versuchte dann leichte Drähte, welche von den Metallbelegungen aus in Näpfe mit flüssigen

1) Kolacek, diese Zeitschr. 5, 455, 1904.
2) Diese Zeitschr. 5, 162, 627, 1904.

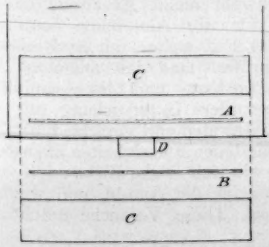


Fig. 2.

Leitern tauchten. Bei dieser Anordnung verhinderten Ungleichmäßigkeiten in der Oberflächenspannung die Aufrechterhaltung konstanter Bedingungen. Ich faßte dann den Plan, das Dielektrikum zwischen horizontalen Elektroden aufzuhängen, dabei die Elektroden so nahe wie möglich aneinander zu bringen und die Potentialdifferenz so hoch wie möglich zu steigern, d. h. so weit, daß bei einem noch höheren Werte eine Entladung eintreten würde. Die Kantenlänge des dielektrischen Würfels betrug 1 cm und die kleinste mit der Aufrechterhaltung konstanter Bedingungen noch vereinbare Entfernung zwischen den Elektroden war 2,2 cm. Die Potentialdifferenz wurde bis auf 15 500 Volt getrieben. Sie wurde mittels einer Funkenstrecke zwischen Messingkugeln gemessen und nach den Tabellen von Paschen[1]) berechnet. Die Empfindlichkeit des Apparates hängt hauptsächlich von der Länge der Aufhängungsfäden ab. Diese bestanden aus sehr dünnen Kokonfäden, und ihre Länge betrug 112 cm. Der ganze Apparat befand sich in einer geeigneten Umhüllung und die Aufhängefäden führten durch besondere Glasröhren.

Wir haben nun folgende Werte für die verschiedenen Größen:

Elektrodenabstand: 2,2 cm; maximale Potentialdifferenz an den Elektroden: $E = 15\,500$ Volt; maximale magnetische Feldstärke: $M = 1080$; Länge der Aufhängung: 112 cm; Kantenlänge des dielektrischen Würfels: 1 cm; Masse des aufgehängten Systems: ungefähr 3 Gramm.

Wir haben dann:

Elektrische Intensität im Dielektrikum:

$$z = \frac{E}{1d + K1a} = \frac{15\,500}{1 + 1{,}2K}.$$

Wird die magnetische Feldrichtung umgekehrt, so ist der erfolgende Stoß an dem Dielektrikum:

$$\int A dt = \frac{K}{4\pi v} Z \int dM = \frac{5}{12{,}5 \cdot 5 \cdot 10^{-10}} \cdot \frac{15\,500 \cdot 10^8}{7} \cdot \frac{2160}{3 \cdot 10^{10}} = 2{,}1 \cdot 10^{-7}\,\text{CGS}.$$

Dividieren wir das Moment dieses Impulses durch das Trägheitsmoment des aufgehängten Systems, so erhalten wir die erfolgende Winkelgeschwindigkeit des dielektrischen Würfels. Aus dieser leitet sich seine kinetische Energie und sonach der Bogen ab, um welchen er entgegen der Schwerkraft schwingen wird. Eine Berechnung dieser Größe ergibt eine Ablenkung von der Größenordnung 10^{-6} cm. Dadurch erklären sich nicht nur die übereinstimmend negativen Ergebnisse der Untersuchungen, sondern es erhellt auch, daß man aus dem von Kolacek vorgeschlagenen Versuch in dieser Form eine Antwort auf die gestellte Frage nicht erwarten darf.

Diese Untersuchung wurde im physikalischen Laboratorium der John Hopkins-Universität mit den Mitteln der Carnegie-Stiftung ausgeführt.

(Aus dem Englischen übersetzt von Max Iklé.)

(Eingegangen 15. April 1905.)

1) Wied. Ann. **37**, 79, 1889.

Sehr ungleiche Elektroden — Ventilzellen — Metallvegetationen.

Von W. Holtz.

Als ich vor längerer Zeit einmal die Ampèresche Rotation einer Flüssigkeit über einem Magnetpole zeigen wollte und hierbei Kupfersulfat und Kupferdrähte (eine Ring- und eine Spitzenelektrode) gebrauchte und als Stromquelle eine elektromagnetische Handmaschine, hörte plötzlich zu meiner Überraschung der Strom auf, setzte aber wieder ein, als ich die Maschine umgekehrt drehte. Bald erkannte ich, daß der Strom allemal aufhörte, sobald die Spitzenelektrode die Anode war, und glaubte nun, daß ich eine neue Ventilzelle erfunden hätte. Als ich die Literatur studierte, sah ich freilich, daß die Sache nicht ganz neu war. Schon Buff[1]) fand 1848, als er einen Kupferstreifen als Anode in Kupfersulfat einer größeren Platte gegenüber stellte, daß der Polarisationswiderstand außerordentlich groß war wegen eines braunen Überzugs, den er für Oxyd hielt. Dies wurde nur beiläufig erwähnt und ist deshalb wohl in Vergessenheit geraten. Erst 1903 fand Fischer[2]) etwas Ähnliches, als er einen Kupferdraht als Anode in verdünnter Schwefelsäure einem größeren Blechstück gegenüberstellte und anfangs schwächere, dann ruckweise stärkere Ströme gebrauchte. Der Draht bedeckte sich anfangs, wobei der Widerstand stark zunahm, mit einem braunen Überzuge, den er für staubförmiges Kupfer hielt, und der bei Einsetzen des stärkeren Stromes zerstäubte. Bei beiden Forschern hörte der Strom keineswegs ganz auf, gleichwohl meint Fischer, daß es ein Analogon für die Aluminium-Ventilzelle sei. Als ich den Fall weiter mit hydroelektrischen Strömen prüfte, fand ich manches, was ich nicht erwartet hatte, und dies veranlaßte mich, eine umfassendere Untersuchung mit sehr ungleichen Elektroden und verschiedenen Metallen und verschiedenen Flüssigkeiten anzustellen, um zu sehen, wie sich solche Elektroden verhielten, wenn die kleine die Anode, und wenn sie die Kathode sei. Diese Versuche möchte ich im

1) Buff, Pogg. Ann. **73**, 508.
2) Fischer, Zeitschr. f. Elektrochemie **9**, 507.

folgenden kurz beschreiben. Wegen mancher bereits vorliegender Arbeiten über die Polarisation von Platinelektroden [1]) und der noch größeren Zahl von Arbeiten über die Polarisation von Aluminiumelektroden [2]) wollte ich diese Metalle anfangs von der Untersuchung ausschließen, prüfte sie aber doch, und da ich hierbei einiges fand, was mir neu schien, führe ich der Vollständigkeit halber auch hierüber einige Zahlenreihen auf.

Die Versuchsanordnung war die folgende: Als Zersetzungszelle benutzte ich 8 cm große Pulvergläser, in deren Kork ich, $1\frac{1}{2}$ cm voneinander, mit dem Messer zwei Schlitze stach. Durch diese steckte ich zwei Streifen aus gleichem Material, den einen 2 cm, den andern 2 mm breit, wobei der letztere, soweit er in die Flüssigkeit tauchte, bis auf das unterste Ende mit Wachskitt überzogen war. Da ersterer 3 cm eintauchte, mochten die von der Flüssigkeit benetzten, einander gegenüberstehenden Flächen, die eine 600 qmm, die andere 3 qmm groß sein, wobei die kleine der Mitte der andern gegenüberstand. Nur ausnahmsweise gebrauchte ich ein anderes Größenverhältnis, wie ich später bemerken will. In Fällen, wo sich die kleine Elektrode schneller auflöste, mußte sie wiederholt erneuert werden. Neben verdünnter Schwefelsäure verschiedener Konzentration wandte ich Salzlösungen und, wo es nicht anders gesagt ist, gesättigte oder fast gesättigte Lösungen an. Als Stromquelle benutzte ich 1—12 Léclanché-Elemente mittlerer Größe. Als Meßinstrument hatte ich ein gut gedämpftes Zeiger-Galvanometer, an welchem den Ausschlägen von

10	20	30	40	50	70	85 °
eine Stromstärke von 0,009	0,018	0,03	0,045	0,07	0,2	0,35 Amp. entsprach.

Um die Stromrichtung in der Zersetzungszelle bequemer wechseln zu können, stand zur Seite des Glases je eine Fußklemme mit oben eingeklemmtem horizontalem Drahte. Diese Drähte ließ ich die aus dem Korke hervorschenden Streifen berühren und brauchte so, um die Stromrichtung zu ändern, das Glas nur umzudrehen. In den Tabellen bedeutet die erste Zahlenreihe die Elementenzahl. Links von den Vertikalstrichen stehen die Ausschläge, welche ich bei kleiner Anode, rechts diejenigen, welche ich bei kleiner Kathode erhielt. Über die Vertikalstriche ist der Konzentrationsgrad der Säure in Prozenten gesetzt.

1) Fromme, Wied. Ann. **33**, 80; Richarz, ebenda **39**, 67 u. **47**, 567; Koch & Wüllner, ebenda, **45**, 475 u. 759.

2) Buff, Lieb. Ann. **102**, 296; Ducretet, Journ. d. Phys. **4**, 84; Graetz, Wied. Ann. **62**, 323; Lecher, Wiener Akademieb. **107** [II], 739; Wippermann, ebenda, **107** [II], 839; Campetti, Atti acc. delle Scienze Torino **34**, 90; Eichberg u. Kallir, Wiener Akademieb. **108** [II], 212; Norden, Zeitschr. f. Elektrochemie **6**, 159 u. 188; Bartorelli, N. Cim. [5] 1, 112; Naccari, Atti di Torino, **38**, 468; Norden, Electrician **48**, 107.

Platin in verdünnter Schwefelsäure.

	0,1		1		10	
1	0,5	0,3	0,9	0,6	1,1	0,9
2	3,5	2	20	15	40	35
3	10	4	50	43	78	75
6	28	15	74	72	84	84
12	50	40	83	83	88	80

Natürlich notierte ich die Ausschläge erst, nachdem der Zeiger von dem Anfangsausschlage, welcher stets beträchtlich größer war, zu einer näherungsweise konstanten Lage gesunken war. In der Tabelle zeigt sich, daß der in Rede befindliche Unterschied mit zunehmender Konzentration abnimmt, wie es auch schon von andern gefunden ist.

Kohle in verdünnter Schwefelsäure.

	0,1		1		10	
1	0,3	0,2	0,5	0,5	0,7	1
2	4	2	8	11	10	20
3	11	5	33	40	55	60
6	32	16	68	70	83	85
12	56	44	84	84	88	88

Statt des schmalen Streifens fungierte ein dünnes Stäbchen. Hier verging längere Zeit, bis der Zeiger zu einer konstanten Lage kam. Interessant ist der Umschlag, der mit der einprozentigen Säure beginnt.

Aluminium in verdünnter Schwefelsäure.

	0,1		1		10	
1	0,5	1	0	3	0	4
2	0,6	2	0	7	0	6
3	3	6	0	8	0,1	20
6	0,5	10	0,1	13	0,3	35
12	0,3	15	0,7	30	3	50

Vor jeder Ablesung wurden beide Elektroden mit einem Messer blank geschabt. Bevor ich dies tat, bekam ich Ausschläge, welche garnicht in Einklang zu bringen waren. Zum Verständnis der Zahlen bemerke ich, daß bei kleiner Anode der Zeiger ziemlich schnell zurückging, während er bei kleiner Kathode meist nach großen Ausschlägen oft erst nach einer Minute in diejenige Lage kam, welche ich notieren konnte. Die Zahl 0 bedeutet, daß kein Ausschlag bemerkt wurde, gleichviel, ob überhaupt kein Ausschlag erfolgte, oder der Zeiger nach anfänglichem Ausschlage in der 0-Lage zur Ruhe kam; daß trotzdem ein schwacher Strom passierte, sah ich, als ich einmal das Galvanometer durch äußere Astasie empfindlicher machte. Bevor ich putzte, erhielt ich häufig

gar keinen Ausschlag, welche Elektrode auch die Anode war, sobald ich von stärkeren Strömen zu schwächeren überging. Auch trat nicht selten der Fall ein bei Änderung der Stromrichtung, daß der neue Ausschlag allmählich immer größer wurde.

Dasselbe mit einem Streifen von 5 mm Breite.

0,1		1		10	
1	1 3	0,3	4	1	3
2	2 4	1	2	2	4
3	1,5 7	1	6	4	5
6	2 12	2	15	5	20
12	3 15	4	35	60	70

Da der Streifen hier seiner ganzen Länge nach benutzt wurde, war die eine Elektrode $^1/_4$ so groß als die andere. Die Zahl 0 fehlt; die Ausschläge zeigen eine größere Regelmäßigkeit. Bei Wiederholungen stellten sich gleichwohl manche Abweichungen ein.

Aluminium in Aluminiumchlorid.

1	40	2
2	55	2
3	68	3
6	83	3
9	88	3

Es war eine zehnprozentige Lösung des Anhydrids, und ich benutzte wieder die Spitzenelektrode. Die Tabelle zeigt ein ganz verändertes Bild. Bei kleiner Anode große mit der Elementenzahl wachsende Werte, bei kleiner Kathode nach anfänglich größeren Ausschlägen und anfangs schnellem, dann langsamem Rückgang fast immer die Zahl 3. Hätte ich statt ihrer die Zahl 0 erreicht, so wäre das Arrangement gewissermaßen eine umgekehrte Aluminium-Ventilzelle gewesen.

Kupfer in verdünnter Schwefelsäure.

0,1		1		10	
1	3 0,5	9	12	6	50
2	4 3	15	40	5	78
3	7 10	10	60	5	84
6	10 24	10	77	4	87
12	7 55	10	87	87*	89

Die Zahlen links vom Strich wurden meist nach größerem Anfangsausschlag und dann schnellem, fast plötzlich erfolgendem Rückgange gewonnen. Bei 0,1 proz. Säure sind bei 1—2 Elementen die Zahlen links vom Strich größer, und dasselbe zeigte sich, als ich eine 0,05 proz. Lösung untersuchte. Sonst steht immer rechter Hand die größere Zahl. Bei der mit einem Stern bezeichneten Stelle, also bei zirka 20 Volt, trat unter singendem Geräusche die interessante Erscheinung ein, welche schon Fischer in seiner Arbeit beschrieben hat, daß nämlich die Anode unter massenhafter Bildung eines bräunlichen fortgeschleuderten Pulvers langsam zerstäubte, solange die Flüssigkeit sie benetzen konnte. Daß dies teilweise ein thermischer Effekt ist, wie Fischer durch künstliche Abkühlung der Anode bewies, wo die Erscheinung ausblieb, zeigte sich auch darin, daß sie ausblieb, als ich einen 5 mm dicken Draht mit Kitt überzog und eine 3 qmm große Fläche wieder blank schabte.

Kupfer in Kupfersulfat		Kupferchlorid		Kupfernitrat	
1	6 13	2	40	37	55
2	5 40	1	65	25	70
3	3 60	1	83	22	85
6	7 88	1,2	88	75	87
12	10 88	3	89	80	89

Beim Kupfersulfat zeigt sich ein Minimum links vom Strich bei mittlerer Spannung. Als ich statt der gewöhnlichen kleinen Elektrode eine nur 1 qmm große anwandte, ging der Zeiger hier bis auf die Zahl 1 zurück; und als ich dabei dann statt der gewöhnlichen größeren Elektrode eine noch größere gebrauchte, ging er zuweilen völlig bis 0 zurück. Auch in Kupferchlorid, wo die Zahlen links vom Strich noch kleiner sind, konnte ich mit 1 qmm großer Anode leicht die Zahl 0 gewinnen. Viel größer sind die Zahlen links vom Strich beim Kupfernitrat, wobei sich auch ein Minimum bei mittlerer Spannung zeigt. Hier scheint eine Zerstäubung der Anode, aber ohne Geräusch und weniger gewaltsam als in verdünnter Schwefelsäure, schon bei zirka 10 Volt anzufangen. In allen drei Flüssigkeiten bildete sich an der kleinen Kathode, aber nur bei 1—2 Elementen, ein kleines Bäumchen mit deutlicher Verzweigung aus. Ich wußte bisher nicht, daß sich Kupfer überhaupt baumartig ausscheiden könne, und daß es hier geschah, daran war natürlich nur die Kleinheit der Elektrode schuld. Bei höherer Spannung wurde der Niederschlag knollig und pulverartig. Jedenfalls wurde dadurch die Elektrode stark vergrößert, was wieder eine Vergrößerung des Ausschlags bewirken mußte. Das Galvanometer wurde deshalb möglichst gleich nach Schluß der Kette abgelesen, und der Ausschlag nach den Schwankungen der Nadel geschätzt. So auch später in ähnlichen Fällen.

Zinn in verd. Schwefels. in Zinnchlorür

0,1			
1	6	4	10 5
2	10	7	19 20
3	15	17	30 40
6	30	40	40 70
12	50	65	78 80

Auch bei 1 proz. Säure waren die Ausschläge rechts vom Strich allemal erheblich größer. Ebenso bei 10 prozentiger, wo der Zeiger links vom Strich bei 1—2 Elementen von anfänglich großem Ausschlage sogar bis auf die Zahl 4 sank, also ebensoweit, als es beim Kupfer in verd. Schwefels. angegeben ist. Beim Chlorür zerfiel bei der Zahl 78 die kleine Anode schnell unter zeitweise puffendem Geräusch.

Zink in verd. Schwefels.		in Zinkchlorid	
	0,1		
1	6 | 2	55	60
2	9 | 9	65	80
3	12 | 15	70	86
6	23 | 40	80	88
12	45 | 65	88	89

Bei ein- und zehnproz. Säure stets größere Zahlen rechts vom Strich. Beim Chlorid erfuhr ich, was mir noch nicht bekannt war, daß sich auch Zink an kleiner Kathode baumartig ausscheiden kann, wofür man am besten, wie beim Kupfer, nur 1—2 Elemente wirken läßt. Dann erhält man feine Zweige von weißer Farbe. Übrigens zerfiel bei der Zahl 88 die kleine Anode unter singendem Geräusch.

Kadmium in verd. Schwefels.		in Kadmiumchlorid	
	0,1		
1	6 | 4	24	32
2	7 | 7	35	50
3	14 | 16	25	62
6	30 | 40	27	70
12	52 | 64	33	85

Bei den ersten Zahlen rechts vom Strich schlug der Zeiger anfangs weiter aus, ging aber zurück. Bei stärkerer Konzentration der Säure erhielt ich stets größere Zahlen rechts vom Strich. Beim Chlorid zeigt sich ein Minimum links vom Strich bei mittlerer Spannung, wobei der Zeiger von größeren Ausschlägen langsam zurückging. Wie ich nach Früherem erwarten konnte, entstand an der kleinen Kathode auch hier ein Baum, schon bei einem Elemente, und zwar so schön, als es sonst nur bei Zinn, Blei und Silber einzutreten pflegt.

Eisen in verd. Schwefels.				in Eisensulfat	
	0,1		1		
1	2	0,5	0 | 16	0,2	16
2	2	3	15 | 45	8	35
3	10	10	45 | 65	35	55
6	27	28	75 | 80	60	80
12	50	52	86 | 89	80	89

Bei 0,1 prozentiger verdünnter Säure ist der Gang der Zahlen eigentümlich. Hierbei fiel mir auf, daß der Zeiger bei den Zahlen rechts vom Strich eine merkwürdige Unruhe dokumentierte. Bei 1 prozentiger sieht man bei einem Elemente eine regelrechte Ventilzelle und noch eklatanter sah ich dieselbe bei 10 prozentiger, wo ich links 0 und rechts 60 verzeichnen konnte. Im übrigen trat im Gange der Zahlen, wie es ja auch die zweite Tabelle zeigt, kein unerwarteter Wandel ein. Auch beim Sulfat sieht man bei einem Elemente fast eine Ventilzelle. An der kleinen Kathode erschien wohl auch hier eine Verzweigung, aber sie war grobästig, fast knollig, und schwärzlich gefärbt.

Blei in verd. Schwefels.					in Bleiacetat	
	0,1		1			
1	0,2	2	0	30	8	12
2	3	5	15	60	16	22
3	14	16	40	70	25	40
6	39	39	77	77	43	70
12	63	60	87	86	65	88

Die letzten Zahlen der beiden Versuchsreihen mit Säure deuten scheinbar einen Umschlag an. Zu Anfang der zweiten Reihe sehen wir wieder eine Ventilzelle, wobei der Zeiger rechts konstant auf 30 blieb. Bei 10prozentiger Säure erhielt ich links vom Strich ebenfalls 0, wobei der Zeiger rechts aber von 45 auf 5 sank. Nach jedem Ausschlage mußte neu geputzt werden, weil man sonst, namentlich zu Anfang der Reihen, wesentlich andere Zahlen erhielt. Bei der Bleizuckerlösung war letzteres viel weniger nötig.

Silber in verd. Schwefels.					in Silbernitrat	
	0,1		1			
1	0,3	1	0,4	4	15	6
2	4	2	14	40	28	20
3	10	6	45	60	37	37
6	30	25	73	78	58	?
12	52	45	80	86	70	?

Die erste Tabelle zeigt fast die entgegengesetzte Tendenz, als die zweite, doch waren bei jener die Zahlen rechts vom Strich anfangs auch größer, dann aber ging der Zeiger langsam zurück. Bei der 10prozentigen Höllensteinlösung entspricht der Verlauf nahezu dem der ersten Tabelle, doch waren die letzten Zahlen rechts vom Strich wegen des schnell anschießenden Silberbaumes nicht mehr bestimmbar.

Nickel in verd. Schwefels.					in Nickelsulfat	
	0,1		1			
1	0,2	2	0,3	35	0,1	2
2	7	6	40	70	11	7
3	24	17	70	80	40	25
6	55	40	86	88	70	55
12	75	65	89	89	82	75

In allen drei Tabellen zeigt sich ein Umschlag, sobald die Elementenzahl größer als 1 wird, nämlich rechts vom Strich immer die kleinere Zahl. Ganz ähnlich war der Verlauf bei Nickelnitrat und Nickel-Ammoniumsulfat. Dagegen erhielt ich bei 10prozentiger Säure stets größere Zahlen rechts vom Strich und bei einem Elemente eine Art Ventilwirkung, links 0,5 und rechts 60.

Gold in verd. Schwefels. in Goldchlorid

	0,1		1			
1	0,1	0,3	0,1	0,3	4	0,5
2	3	1	10	7	16	5
3	10	3	45	45	27	13
6	28	12	75	75	50	30
12	50	35	84	84	70	60

Das Gold, wenigstens die kleine Elektrode, war nicht chemisch rein. Damit mag es zusammenhängen, daß sie bei verdünnter Säure nach jedem Ausschlag gereinigt werden mußte, wenn sich nicht wesentlich andere Ausschläge ergeben sollten. Beim Goldchlorid, das eine 2prozentige Auflösung war, schien die Reinigung weniger nötig. Die Tabellen verhalten sich ähnlich wie die Nickeltabellen, nur daß hier bei der dritten schon an erster Stelle der Ausschlag rechts kleiner ist. Bei 10prozentiger Säure erhielt ich an erster Stelle beiderseits 0,1, dann rechts größere Zahlen als links, wie es auch beim Nickel geschah.

Magnesium in verd. Schwefels. Magnesiumsulfat

	0,1			
1	3	0,1	20	10
2	5	3	35	27
3	15	10	50	40
6	36	32	65	55
12	50	44	77	70

Hier sind sämtliche Zahlen rechts vom Strich kleiner. Leider konnte ich eine konzentriertere Säure nicht versuchen, da das Metall zu schnell aufgelöst wurde.

Kobalt in verd. Schwefels. in Kobaltchlorid

	0,1		1			
1	6	1	20	30	30	30
2	14	3	40	60	35	70
3	32	7	73	77	65	85
6	65	13	87	87	80	88
12	80	26	89	89	88	89

In der zweiten Tabelle kehrt sich die Tendenz um, und so wie sie in dieser ist, war sie auch bei 10prozentiger Säure, und so zeigt sie sich auch beim Chlorid. Kobalt scheidet sich nicht baumförmig, sondern eher stabförmig oder pilzförmig aus. Wegen des ziemlich schnellen Anwachsens waren die Zahlen rechts vom Strich schwer zu beobachten und mögen wohl etwas zu groß gefunden sein.

Antimon in verdünnter Schwefelsäure.

	0,1		1		10	
1	0,2	1	0,2	2	0,2	10
2	0,2	2	0,2	5	0,3	20
3	0,2	3	0,2	25	0,4	50
6	0,4	10	0,4	60	0,5	80
12	0,5	20	0,7	80	0,8	87

Der Verlauf dieser Zahlenreihen zeigt eine merkwürdige Stetigkeit und verhält sich fast so, als ob die Zelle eine Ventilzelle sei.

Wismut in verdünnter Schwefelsäure.

	0,1		1		10	
1	0	0,8	0,2	7	7	20
2	1,5	2,5	3	30	15	70
3	2,5	5	5	40	27	85
6	5	12	10	65	*	
12	7	26	15	85	?	

Wo der Stern steht, schlug der Zeiger anfangs bis 60 aus und ging dann langsam bis 30 zurück. Rechts dagegen schlug der Zeiger bis 80 aus und ging dann schnell bis 5 zurück. Wo das Fragezeichen steht, stieg der Ausschlag ganz langsam bis 70 und ging dann langsam bis 5 zurück. Rechts fand ein beständiges Schwanken zwischen 5 und 60 statt.

Mangan in verd. Schwefels. in Manganchlorid

	0,1		1			
1	0,5	4	0,5	8	1	3
2	5	10	30	30	7	15
3	20	20	70	70	68	75
6	55	55	85	85	86	87
12	75	75	89	89	88	89

Dieser letzte Versuch stimmt insofern nicht zu den übrigen, als hier die eine Elektrodenfläche nur etwa 10mal so groß als die andere war, da ich Mangan nur in lockeren Stücken erhalten konnte, von denen ich ein großes und ein kleines an einen Platindraht hing. Beide Stücke schwärzten sich allmählich. Geputzt konnte nicht werden. Gleichwohl zeigt sich deutlich, daß bei Ungleichheit der Ausschläge der größere stets auf der rechten Seite war.

Ich fand bei Wiederholungen oft wesentlich andere Zahlen, und dies hielt mich längere Zeit von einer Veröffentlichung ab. Später sah ich ein, daß bei so ungleichen Elektroden ein besseres Resultat nicht zu erwarten ist, da die kleinste Veränderung, namentlich der kleinen Elektrode, deren Abwehr man gar nicht in der Hand hat, schon eine namhaft andere Wirkung haben kann. In der Hauptsache aber, nämlich in betreff der

Frage, ob der Ausschlag bei kleiner Anode oder bei kleiner Kathode größer sei, habe ich bei Wiederholungen nur in seltenen Fällen etwas anderes gefunden. Eine kurze Fassung des Gesamtergebnisses ist die folgende:

Fast immer ändert sich bei einer Stromwendung der Ausschlag. Bei der Hälfte der Metalle ist er meist kleiner, wenn die Anode die kleinere ist, bei der andern Hälfte ist es umgekehrt. Bei vielen Metallen hat sowohl das eine wie das andere statt, wenn die Flüssigkeit, die Konzentration oder die Spannung eine andere ist. Meist ist der Unterschied der Ausschläge größer, wenn die Konzentration und die Spannung kleiner ist. Ventilzellen, welche die Aluminiumzelle zwar nicht ganz erreichen, aber ihr doch sehr nahe kommen, liefern noch Eisen, Blei, Nickel, Antimon, Wismut in 1prozentiger Schwefelsäure bei geringer Spannung, sowie Kupfer in Kupfersulfat und in Kupferchlorid bei mittlerer Spannung. Metallbäume an der kleinen Kathode entstehen außer in den bereits bekannten Fällen noch bei Kupfer, Zink, Eisen, Kadmium und Kobalt. Beim Kadmium ist die Verzweigung am feinsten; beim Kobalt ist die Ausscheidung mehr pilzartig geformt. Die Ursache der ungleichen Ausschläge liegt wohl immer in einer Veränderung der kleinen Elektrode. Ist sie Anode, so dürfte der größere Widerstand einer Oxyd- oder Superoxydschicht zuzuschreiben sein. Ist sie Kathode, dürfte er einer Wasserstoffschicht, oder bei lockerer Metallausscheidung vielleicht dieser zu verdanken sein. Manche der mitgeteilten Einzelheiten sind noch rätselhaft und dürften erst nach spezielleren Versuchen ihre Erklärung finden.

(Eingegangen 29. Juni 1905.)

VORTRÄGE UND REDEN.

Elektronen und Materie.[1])

Von C. H. Wind.

Im wissenschaftlichen Studium der Physik nimmt die Elektrizitätslehre den bedeutendsten Platz ein; es ist dies eine Folge ihrer ständig steigendes Interesse findenden Anwendungen im gesellschaftlichen Leben sowie des Umstandes, daß sie verspricht (und dies auch bereits in weitem Umfange bewiesen hat), die Grundlagen zur Erklärung zahlreicher Erscheinungen auf anderen Gebieten zu liefern.

Mag es auch einigermaßen übertrieben klingen, wenn der Verfasser der Einleitung zur Mechanik in der „Enzyklopädie der mathematischen Wissenschaften" von einer elektrischen Weltanschauung spricht, zu der augenblicklich viele Physiker neigen sollen; von einer elektrischen Naturbeschreibung kann man sicherlich schon sprechen. Und wahr ist es, daß die Lehre von der Elektrizität sich zu einer Theorie entwickelt hat, die auf Grund einer kleinen Zahl von Hypothesen, in hervorragendem logischen Zusammenhang neues Licht auf das Gesamtgebiet der Physik geworfen hat. Wahr ist es jedoch auch, daß sie in ihrer Entwicklung selbst unsere Begriffe in bezug auf Stoff und Masse nicht unverändert, die Grundprinzipien der Mechanik nicht unangetastet gelassen hat.

Hierin sah Poincaré, als er voriges Jahr auf dem Internationalen Kongreß für Kunst und Wissenschaft in St. Louis eine Diagnose auf den augenblicklichen Stand der mathematischen Physik stellte, die Symptome einer ernsten Krise, und vielleicht gar die Vorzeichen einer nahenden Umgestaltung. Glücklicherweise sieht er den Zustand zwar ernst, aber nicht so düster an, daß er nicht Vertrauen darauf hätte, daß die Krisis für die Patientin nicht verhängnisvoll ablaufen, sondern vielmehr zu ihrem Heile gereichen würde.

Lassen Sie mich nun versuchen, Ihnen in kurzen Zügen einen Begriff von der Entwicklungsgeschichte und den Grundbegriffen der gegenwärtigen Elektrizitätstheorie sowie auch von neuen Gesichtspunkten zu geben, zu denen sie auch auf dem Gebiet der theoretischen Mechanik geführt hat.

Die Entwicklung der gegenwärtigen Elektrizitätstheorie läßt sich als den Aufbau einer Synthese aus einer These und einer Antithese ansehen.

Die These ist die von Coulomb, Ampère und Weber sowie ihren Jüngern nach dem Vorbild der in der Astronomie sich durchaus beweiskräftig erweisenden Schwerkraftstheorie entwickelte Lehre, welche die elektrischen, elektrodynamischen und magnetischen Erscheinungen auf Anziehungen und Abstoßungen zwischen äußerst kleinen positiven und negativen Teilchen oder zwischen den kleinsten Elementen der Stromleiter zurückführen will.

Die Antithese ist die hauptsächlich von Faraday und Maxwell aufgebaute Theorie, nach der die Wirkungen, die elektrisch geladene Körper, Stromleiter oder Magneten unter ihrem

1) Antrittsvorlesung bei Übernahme der Professur an der Reichsuniversität zu Utrecht, am 20. Februar 1905.

gegenseitigen Einfluß erfahren, nicht als wirkliche Abstandswirkungen, sondern als Folge davon aufzufassen sind, daß an der Stelle, wo die Körper sich befinden, in einem den ganzen Raum erfüllenden Mittel besondere Spannungszustände bestehen; diese Spannungszustände würden dann zwar unter dem Einfluß der entfernten Körper stehen, aber doch nur insofern, als sie sich von diesen aus nach allen Seiten durch das Medium fortgepflanzt haben. Diesem Medium oder Äther, demselben Äther, den man bereits früher zur Erklärung des Lichtes angenommen hatte, wird die Hauptrolle zuerteilt. Von elektrischen Teilchen als selbständig bestehenden Dingen ist in dieser Theorie kaum die Rede; die elektrischen Ladungen selbst treten in den Hintergrund. So wird unter anderen von dem Arbeitsvermögen, das ein elektromagnetisches System offenkundig besitzt und das es bereit ist, in mechanische Arbeit, Wärme oder chemische Wirkungen umzusetzen, angenommen, daß es nicht auf oder in den geladenen Körpern, Stromleitern oder Magneten selbst, sondern in dem umgebenden Äther seinen Sitz hat und über dessen kleinste Elemente verteilt ist.

Und wahrlich, die für die Richtigkeit dieser Theorie anzuführenden Argumente waren stichhaltig. Am stärksten war vielleicht das, daß die neuen Vorstellungen zu dem Schlusse führten, daß elektrische und magnetische Wirkungen eine gewisse Zeit gebrauchen, um sich durch den Raum fortzupflanzen und daß der Wert der Geschwindigkeit dieser Fortpflanzung sich aus den Ergebnissen elektrischer Versuche berechnen ließ, die zu ganz anderem Zwecke bereits früher ausgeführt waren, und daß auf diese Weise für diese Geschwindigkeit ein Wert gefunden wurde, der so gut wie genau der von altersher bekannten Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes gleich kam. Hieraus ergab sich jedoch, daß man auf Grund der neuen Theorie auch das Licht erklären konnte, und zwar als einen sich durch den Äther fortpflanzenden elektromagnetischen Schwingungszustand.

Nur für Boltzmann, Lorentz und einige andere waren jedoch die von Maxwell selbst angeführten Beweisgründe hinreichend. Während die Mehrzahl der Physiker sich erst dann für die neue Theorie gewinnen ließen, als die Hertzschen Versuche sie 20 Jahre nach ihrer Vollendung noch einmal in der glänzendsten Weise bekräftigt hatten, stellte Lorentz sich schon ein Dezennium früher bei der Ausarbeitung seiner Dissertation auf den neuen Standpunkt und machte es sich zur Aufgabe, die Maxwellsche Theorie auf die komplizierten optischen Erscheinungen anzuwenden und z. B. die Gesetze der Brechung und Reflektion des Lichtes aus ihr abzuleiten.

Als er jedoch kurz nachher versuchte, den Zusammenhang zwischen dem Brechungsindex der Körper und ihrer Zusammensetzung sowie die Erscheinung der Farbenverschiebung mit Hilfe der Maxwellschen Theorie aufzuklären, kam Lorentz zu der Einsicht, daß diese Theorie zwar an und für sich von der Fortpflanzungsweise des Lichtes im Äther, d. h. in dem scheinbar leeren Raum, vollauf Rechenschaft ablegt, daß man aber nur dann eine befriedigende Vorstellung von dem Einfluß erhalten kann, den der gewöhnliche Stoff auf die Lichtbewegung ausübt, wenn man annimmt, daß im Innersten der Moleküle des Stoffes elektrische Teilchen im Besitz einer gewissen Masse in Schwingungen geraten können.

Diese Vorstellung diente ihm auch bei vielen späteren Untersuchungen als Ausgangspunkt, und unter anderem auch bei seinen Untersuchungen über das Wesen der Lichtausstrahlung der kleinsten Körperteilchen.

Wenn man sich vorstellt, daß ein gewöhnliches Atom nicht ein so einfaches Wesen ist, wie man nach seinem Namen vermuten könnte, sondern vielmehr ein mehr oder weniger kompliziertes System, das aus einer Anzahl noch kleinerer Teilchen besteht, so wird es begreiflich, daß im Innersten des Atoms Bewegungen auftreten können, die unter anderem unter dem Einfluß der Kräfte stehen, die auf das Atom in seiner Gesamtheit einwirken, dies gilt z. B. von dem Zusammentreffen mit anderen Atomen oder Molekülen und daher von der Molekularbewegung im allgemeinen, d. h. der Temperatur des Körpers. Wenn man aber dann weiterhin annimmt, daß die kleineren Bestandteile der Atome entweder sämtlich oder zum Teil elektrische Ladungen besitzen, und wenn man bedenkt, daß nach Faraday und Maxwell die elektrische Ladung eines Teilchens aus einem sich über den umgebenden Äther erstreckenden Spannungszustand besteht, so wird es auch begreiflich, daß die inneren Bewegungen des Atoms zu Zustandsveränderungen des Äthers Anlaß geben müssen, die sich von dem Atom aus nach allen Seiten fortpflanzen. So läßt sich die Lichtausstrahlung durch die Atome der Körper erklären. Die Bewegungen im Atom bestehen, je nach seinem Bau, seinen Dimensionen und nach der Art der von seinen Teilchen aufeinander ausgeübten Kräfte, aus einer begrenzten Anzahl einfacher Schwingungen von bestimmter Schwingungszeit. Dies macht es begreiflich, warum die von den Atomen eines bestimmten Körpers ausgesandten Lichtstrahlen aus einer begrenzten Anzahl einfacher Farben zusammengesetzt sind, — von denen dann eine jede z. B. einer möglichen Schwingungsart im

Innersten der Atome entsprechen kann — und daß jede Atomart und daher auch jedes chemische Element ein eigenes charakteristisches Spektrum zeigt. Man sieht dann auch den Weg, auf dem man die Erklärung für die höchst merkwürdigen Beziehungen suchen muß, die den Beobachtungen zufolge zwischen den Wellenlängen der verschiedenen zu dem Spektrum eines Elementes gehörenden Linien bestehen.

Dieselben Auffassungen haben den Weg zur Erklärung der Veränderungen gebahnt, die das Spektrum einer Lichtquelle zeigt, wenn diese dem Einfluß magnetischer Kräfte ausgesetzt wird. Diese Kräfte erzeugen nämlich in den Bewegungen der elektrischen Teilchen der Atome gewisse Variationen, und die Art dieser in der Hauptsache leicht vorauszusehenden Veränderungen bestimmt natürlich die Art der Veränderungen des Spektrums.

Als diese neue Erscheinung unmittelbar nach ihrer Entdeckung durch Zeeman im Jahre 1895 in der Lorentzschen Theorie seine Erklärung fand und im Anschluß daran von der Theorie gewisse wichtige Eigenschaften vorausgesagt wurden, die die Erscheinung zeigen müßte, und als Zeeman ferner auch diese Besonderheiten unmittelbar durch das Experiment hervorzurufen verstand, wurde wie durch Zauberschlag die Aufmerksamkeit aller Physiker auf diese Zeemanschen Entdeckungen und auch auf die Lorentzsche Theorie gelenkt. Von diesem Augenblick an hatte diese Theorie endgültig gewonnenes Spiel und begannen auch allenthalben mehr als früher andere mathematische Physiker ihre Kräfte der Entwicklung der Theorie zu weihen.

Die elektrischen Teilchen sollten jedoch noch weit mehr in den Vordergrund treten.

Bisher habe ich von solchen Teilchen nur als hypothetisch im Innersten des Atoms vorhanden gesprochen. Auf diesem kleinen Schauplatz wurde ihnen eine gewisse Bewegungsfreiheit zuerkannt; doch dachte man noch nicht daran, daß sie diesen Schauplatz würden verlassen können. Lorentz war aber im Jahre 1894 einen Schritt weitergegangen und hatte die Annahme gewagt, daß derartige elektrische Teilchen es auch seien, deren Fortbewegung nicht innerhalb, sondern zwischen den Molekülen des Körpers hindurch sich uns als elektrischen Strom kundgibt; es war ihm geglückt, von dieser Annahme ausgehend, festzustellen, inwiefern die in einem System von Körpern sich abspielenden elektrischen Wirkungen den Einfluß einer Fortbewegung des Systems durch den Äther erführen. Auch wurde dann von anderer Seite dargetan, daß es möglich sei, auf derselben Basis die von Hall und Kerr entdeckten Veränderungen zu erklären, denen sowohl die Richtung der elektrischen Strömungen wie die Zusammensetzung der von einem Spiegel zurückgeworfenen Lichtstrahlen unter dem Einfluß magnetischer Kräfte unterliegen.

Dann kam die große Röntgensche Entdeckung, der unmittelbar eine plötzliche Belebung des Interesses der Physiker für die schon von früher her bekannten Strahlen folgte, die durch ihren Anprall gegen eine feste Wand Röntgenstrahlen erzeugen, nämlich die Kathodenstrahlen. Daneben zeigte es sich, daß man sich von den Eigenschaften dieser Kathodenstrahlen und von ihrem Zusammenhang mit den Röntgenstrahlen am besten eine Vorstellung bilden kann, wenn man die Kathodenstrahlen als Ströme negativ elektrischer Teilchen auffaßt, die sich mit sehr großer Geschwindigkeit im luftverdünnten Raum fortbewegen.

Auch glückte es Wiechert, schon frühzeitig die Geschwindigkeit dieser Bewegung experimentell zu bestimmen und sie auf ungefähr 50 bis 60000 km pro Sekunde festzustellen; darnach konnte aus der Größe der Krümmung, die ein Bündel Kathodenstrahlen im magnetischen Feld erfährt, abgeleitet werden, wie groß die elektrische Ladung sein muß, die die Teilchen pro Einheit ihrer Masse besitzen. Und siehe, man fand dafür einen Betrag, der identisch war mit dem, den Zeeman aus seinen Versuchen für die elektrischen Teilchen im Innersten der Atome abgeleitet hatte, deren Bewegung das Licht erzeugt. Es lag wohl auf der Hand, die Schlußfolgerung zu ziehen, daß dieselben Teilchen es auch sind, die die Kathodenstrahlen bilden und auf diese Weise den Beweis liefern, daß sie ein genügendes Maß von Selbständigkeit besitzen, um auch in der weiten Welt ihren eigenen Weg zu suchen.

Man fand auch, daß die inzwischen von Becquerel entdeckten Strahlen, die von uranhaltigen Stoffen ausgesandt werden, und die, welche ein Metall unter dem Einfluß ultravioletter Bestrahlung emittiert, aus denselben elektrischen Teilchen bestehen, und daß diese Teilchen auch unter Einflüssen wie ultraviolette Bestrahlung aus gewöhnlichen Gasmolekülen in der Atmosphäre in die Erscheinung treten. Ja man kam zu der Entdeckung, daß die Elektronen (wie man jetzt die neu anerkannten Mitbürger nennt) uns jederzeit in Millionen und Milliarden umgeben, zum Teil in ganz freiem Zustand, doch vielfach auch als Kerne, um die herum sich Moleküle der atmosphärischen Gase in kleinerer oder größerer Zahl geschart haben.

Versuche haben ferner dargetan, daß die Elektronen und die schon erwähnten Molekülaggregate als Kondensationskerne wirken, sobald der Raum mit Wasserdampf übersättigt ist, und zwar die negativen bereits bei einem geringeren Grad von Übersättigung und unter Bildung kleinerer Tropfen als die positiven.

Werden daher die Elektronen zum Teil für das Entstehen von Wolken und Regen verantwortlich, so bewirkt der Unterschied in der Wirkungsweise der beiden Arten von Elektronen, daß infolge der Kondensation auch eine Verschiebung von positiven und negativen Elektronen in der Atmosphäre entstehen muß, die zunächst eine Ursache für die Unterschiede des elektrischen Potentiales und des Potentialabfalles darstellen und die ferner bei allerlei meteorologischen Erscheinungen eine Rolle spielen wird. So ist man dank den neuen Entdeckungen bereits ein gutes Teil in der Erklärung der Gewitter, des Polarlichtes und der Veränderungen des Erdmagnetismus weiter gekommen und kann man daher hoffen, daß diese Entdeckungen, vielleicht im Zusammenhang mit den Beobachtungen und Theorien über den Einfluß der Sonnenstrahlung auf die erwähnten Erscheinungen zur Entwickelung der Meteorologie viel beitragen wird. Gestatten Sie mir, daß ich Ihnen jetzt, soweit dies zum Verständnis des Folgenden nötig ist, die Prinzipien angebe, welche der Elektronentheorie, wie diese sich bereits in fester klarer Form zu bemerkenswerter Höhe entwickelt hat, zugrunde liegen.

Es ist zum Teil der Benutzung der kernigen Vektorensprache zuzuschreiben, daß es (wie dies Lorentz in seinem Artikel über die Elektronentheorie uns in der „Enzyklopädie der mathematischen Wissenschaften" zeigt) möglich ist, den mathematischen Ausdruck des ganzen Systems von Grundprinzipien auf einer einzigen, und zwar durchaus nicht mit Formeln überlasteten Seite zusammenzufassen; dieser Umstand legt aber doch von der verhältnismäßig sehr bedeutenden Einfachheit des Systems Zeugnis ab.

Deutlich spricht sich in diesem System auch der Charakter der neuen Theorie als Synthese zur Coulomb-Ampère-Weberschen These und zur Faraday-Maxwellschen Antithese aus.

Die kleinsten elektrischen Teilchen und der Äther treten gleichmäßig in den Vordergrund.

Vom Äther wird angenommen, daß er ein Medium ist, das im ganzen Raume (auch im Innersten der Moleküle gewöhnlicher Substanz) vorhanden und zweier Zustandsveränderungen fähig ist, in bezug auf deren wirkliches Wesen keine Annahmen gemacht werden, von denen man jedoch annimmt, daß sie in jedem Punkte des Raumes nicht nur eine gewisse Größe, sondern auch eine gewisse Richtung besitzen. Die eine dieser Zustandsveränderungen wird elektrische Verschiebung und die andere magnetische Kraft genannt.

In bezug auf die Größe und Richtung der elektrischen Verschiebung nimmt die Theorie an, daß sie jederzeit an den verschiedenen Stellen im Äther derartig sind, daß man sich die Verschiebung der Größe und Richtung nach als die in einer imaginären, inkompressiblen, den ganzen Raum erfüllenden Flüssigkeit vorstellen kann.

Mit dieser elektrischen Verschiebung, so wird weiter angenommen, hängen die Elektronen unmittelbar zusammen. Und zwar denkt man sich diesen Zusammenhang derartig, als ob bei dem soeben angedeuteten Bild der inkompressiblen Flüssigkeit in jedem positiven Elektron eine bestimmte Menge dieser Flüssigkeit aus dem Nichts entstanden, in jedem negativen Elektron hingegen eine bestimmte Menge in das Nichts verschwunden wäre. Die Elektronen sind dann gewissermaßen Kerne, um die herum sich eine elektrische Verschiebung strahlenförmig ausbreitet, und zwar entweder — bei den positiven — nach außen, oder — bei den negativen — nach innen.

Was die zweite Zustandsveränderung, die Magnetkraft, betrifft, so nimmt die Theorie an, daß diese dann besteht, wenn irgendwo im Äther Bewegung von Elektronen vorhanden ist, und daß dann ihre Größe und Richtung im gesamten umgebenden Äther vollständig durch Größe und Richtung der Elektronengeschwindigkeit bestimmt sind. Falls es nur ein einziges Elektron ist, das sich fortpflanzt, so würde z. B. die Größe der Magnetkraft in jedem Punkt einfach zur Größe der Geschwindigkeit des Elektrons proportional sein.

Endlich wird angenommen, daß ein Elektron gewissen Kräften unterliegt, die auf bestimmte Weise von der elektrischen Verschiebung und der Magnetkraft im Äther an der Stelle, wo sich das Elektron befindet, und auch von der Stärke und Bewegung des Elektrons abhängen.

Von gewöhnlichem Stoff ist in den Grundprinzipien nicht die Rede; in diesem Stillschweigen ist jedoch die Annahme enthalten, daß im Innersten eines Moleküls oder Atoms der gewöhnlichen Materie elektrische Verschiebung, Magnetkraft und Elektronen ebensogut wie im freien Äther bestehen können und daß sie dann denselben gegenseitigen Beziehungen unterliegen wie dort. Die Grundbegriffe schließen aber nicht aus, daß der Stoff auch zum Beispiel insofern eine Rolle spielen kann, als seine Moleküle auf die Elektronen gewisse Kräfte ausüben.

Wieweit man mit den einfachen Vorstellungen der Elektronentheorie sogar bei der Erklärung der im Innersten der Körper auftretenden Erscheinungen kommen kann, das lehren uns die jüngsten Untersuchungen von Lorentz. Bei diesen wendet der Verfasser auf die freien Elektronen, von denen man annimmt, daß sie in großer Zahl im Innersten eines Metalls zwischen den Molekülen vorhanden sind und

dort durch ihre geringe Dimensionen noch verhältnismäßig viel Raum für ihre Bewegungen besitzen, ähnliche Betrachtungen wie die in der kinetischen Gastheorie gebräuchlichen an, und stipuliert dann für die Kräfte, die sie von seiten der Moleküle erfahren, ein gewisses einfaches Gesetz. Dann sieht man, wie leicht man zu befriedigenden Vorstellungen über den Grund der Gesetze und das Wesen einer ganzen Reihe von Erscheinungen kommen kann, bei denen bisher noch viel Rätselhaftes übrig geblieben war. Man kommt ganz ungezwungen zur Erklärung des von Biedermann und Frantz entdeckten Zusammenhanges zwischen thermischem und elektrischem Leitvermögen und zur Berechnung des numerischen Verhältnisses dieser beiden Größen, ferner zur Erklärung der Jouleschen Wärme, der thermoelektrischen Kräfte und des Peltier- und Thomson-Effekts, sowie auch zu dem mathematischen Ausdruck der diese Erscheinungen beherrschenden Gesetze.

In den Prinzipien der Elektronen-Theorie erkennt man den Elektronen nicht ausdrücklich eine Masse zu. Wohl aber wird daselbst ausgesagt, daß auf ein Elektron, wenn dieses in ein elektrisches und magnetisches Feld gesetzt wird, bestimmte Kräfte wirken, und hiermit ist gemeint (was auch aus der Erfahrung bekannt ist), daß eine mit Elektronen verbundene Masse in einem solchen Felde bestimmte Geschwindigkeiten und daher eine gewisse kinetische Energie erhalten kann. Darin ist aber die Tatsache enthalten — wenn man das Gesetz der Erhaltung der Energie anwendet — daß das Vorhandensein eines solchen Feldes mit dem Vorhandensein einer gewissen Energiemenge Hand in Hand geht. Verhältnismäßig einfache Betrachtungen lehren ferner, daß dieser Energiebetrag so aufgefaßt werden kann, als ob er über den ganzen Äther verteilt und an verschiedenen Stellen mehr oder weniger stark zusammengedrängt wäre, je nachdem die elektrische Verschiebung und Magnetkraft von größerer oder geringerer Stärke sind; ferner lehren sie, daß dieser Energiebetrag sich auch als aus zwei Bestandteilen bestehend auffassen läßt, die beide an irgendeiner Stelle des Äthers eine zum Quadrat der Größe der elektrischen Verschiebung oder der Magnetkraft proportionale Dichte besitzen. Man spricht demgemäß von den beiden Bestandteilen des Energiebetrages bezw. als der elektrischen und magnetischen Energie. Für den Fall, daß man es mit dem Felde eines einzelnen dahin eilenden Elektrons zu tun hat, ist dann aber, da der Betrag der elektrischen Energie von der Bewegung nicht abhängig ist, die magnetische Energie auch einfach zum Quadrat der Geschwindigkeit des Elektrons proportional.

Will man daher das Elektron aus seinem Ruhezustand in Bewegung versetzen, oder wenn es sich in Bewegung befindet, seine Geschwindigkeit vergrößern, so muß man entweder magnetische Energie erzeugen oder die vorhandene Menge magnetischer Energie vergrößern, d. h. in beiden Fällen Arbeit verrichten, und zwar in einem Betrage, der demselben Gesetz entspricht, das auch bei der Bewegung gewöhnlicher Masse gilt. Daß an die Bewegung eines Elektrons das Vorhandensein eines magnetischen Feldes gebunden ist, hat u. a. zur Folge, daß das Elektron sich Ursachen gegenüber, die seinen Bewegungszustand zu verändern bestrebt sein sollten, so verhält, als ob es eine gewisse Masse besäße.

Außer dieser Masse, die ich die elektromagnetische Masse nennen will und die wir auf den ersten Blick nur eine scheinbare nennen können, würde das Elektron noch entweder an Stoff von wirklicher Masse gebunden sein oder selbst eine gewisse wirkliche Masse besitzen können.

Die gesamte Masse eines negativen Elektrons hat man durch den Versuch annähernd bestimmen können und gefunden, daß sie ungefähr $^1/_{1000}$ der Masse eines Wasserstoffatoms betragen muß.

Das einfachste wäre es nun anzunehmen, daß die scheinbare Masse, deren Vorhandensein mit Sicherheit aus der Theorie folgt, auch die gesamte Masse des Elektrons ist, daß also von wirklicher Masse bei diesen Körperchen keine Spur vorhanden ist. Aber man braucht es in dieser Hinsicht nicht nur bei einer Vermutung zu belassen, denn die Theorie lehrt einen Weg kennen, auf dem man die elektromagnetische und die gewöhnliche Masse besonders aus Versuchen ableiten kann. Die elektromagnetische Masse ist nämlich nicht konstant; sie muß in bestimmter Weise, wie die Theorie es annimmt, von der Geschwindigkeit abhängig sein, mit der das Elektron sich bewegt. Der Einfluß ist bei kleineren Geschwindigkeiten äußerst gering und kann nur bei Geschwindigkeiten, die der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes einigermaßen nahe kommen, eine merkliche Größe annehmen. Nun kommen aber bei den verschiedenen z. Z. bekannten Strahlensorten Elektronen mit verschiedener Geschwindigkeit vor, die bis nahe an die Geschwindigkeit des Lichtes herangehen, und zwar unter solchen Bedingungen, daß sie sich zu den erwähnten fraglichen Versuchen eignen, und kommt Kauffmann, der diese Versuche ausgeführt hat, für negative Elektronen zu dem Ergebnis, daß die totale Masse in derselben Weise mit der Geschwindigkeit zusammenhängt, wie die Theorie es von der elektromagnetischen Masse verlangt, was ihn zu der Schlußfolgerung

führt, daß bei diesen (negativen) Elektronen die wirkliche Masse keine merkliche Rolle spielt.

Nimmt man auf Grund der Versuche an, daß die negativen Elektronen wirklich keine andere als elektromagnetische Masse besitzen, so kann man weiterhin noch in zwei großen Etappen zu der Annahme gelangen, daß jede Masse elektromagnetische Masse ist. Man muß hierzu nämlich zunächst annehmen, daß das für die negativen Elektronen Gefundene auch für die positiven gilt, und ferner, daß gewöhnlicher Stoff vollständig aus positiven und negativen Elektronen besteht.

Die scheinbare Masse ist dann die einzig wirkliche; eine andere Masse existiert nicht mehr. Wie Balfour in seiner interessanten Ansprache bei der Eröffnung der British Association in Cambridge im Jahre 1904 es ausdrückte: „Matter is not merely explained, but is explained away."

Die Atome und Moleküle wird man sich dann vorstellen müssen als eine Art von Planetensystemen, die durch Kräfte elektromagnetischen Ursprunges zusammengehalten werden und aufeinander einwirken.

Ein solches Planetensystem will ich bald in der Nähe betrachten; zunächst will ich jedoch an diese Annahme über den Ursprung der Molekularkräfte die Bemerkung knüpfen, daß, in diesem Licht beschaut, die Ergebnisse des bekannten Interferenzversuches von Nicholson und der Trouton und Nobleschen Versuche sich als experimentelle Beweisgründe für die soeben nur als Hypothese gewagte Nichtigkeitserklärung der wirklichen Masse darbieten. Denn die auf den ersten Blick ziemlich willkürlich erscheinenden Hypothesen, die Lorentz zur Erklärung dieser Versuche hat aufstellen müssen, werden ganz annehmbar, wenn man von der Annahme ausgehen kann, daß alle Massen und alle Molekularkräfte in einem Körper unter dem Einfluß einer totalen Bewegung des Körpers ähnliche Veränderungen erfahren wie die Massen und Kräfte elektromagnetischen Ursprungs und dasselbe gilt daher auch dann, wenn man annehmen kann, daß aller Stoff aus lauter Elektronen besteht.

Doch nun wollen wir ein Planetensystem wie das eben erwähnte mehr im besonderen besprechen.

Das einfachste System dürfte ein Wasserstoffatom sein, da dieses eine kleinere Masse als irgendein anderes Atom besitzt. Nach der einfachsten Annahme, die wir von dem nun einmal eingenommenen Standpunkte aus in bezug auf den Bau dieses Systems machen können, ist die, daß es aus einem einzigen negativen und einem einzigen positiven Elektron besteht.

Von dem negativen Elektron wissen wir, daß seine Masse ungefähr $^1/_{1000}$ der gesamten Masse des Atomes beträgt. Hieraus würde dann folgen, daß das positive eine ungefähr tausendmal größere Masse als das negative besitzt. Dies stimmt an und für sich nicht schlecht mit der aus allerlei Beobachtungen erwiesenen geringeren Beweglichkeit der positiven Elektronen überein. Man glaube aber nicht, daß ein Unterschied in demselben Sinne hinsichtlich der Abmessungen besteht. Bei diesen ist das Verhältnis nämlich gerade umgekehrt. Dies lehrt die Theorie, und es wird uns auch bereits einigermaßen begreiflich, wenn wir bedenken, daß es bei einem Elektron die magnetische Energie ist, aus der seine Masse sich ergibt, und daß diese Energie in dem gesamten Raum und keineswegs nur in seinem Innersten ihren Sitz hat. Wir werden uns also vorstellen müssen, daß die Abmessungen des positiven Elektrons noch tausendmal kleiner als die des negativen Elektrons sind. Gewisse Messungen haben aber auch zu einer Abschätzung der absoluten Größe der Elektronen geführt und für den Durchmesser des negativen Elektrons etwa den billionsten Teil eines Millimeters ergeben. Die kinetische Gastheorie ihrerseits nimmt für die Längenabmessungen eines Moleküls etwa ein Millionstel Millimeter an. Schätzt man nun das Atom z. B. noch zehnmal kleiner, so ergibt sich für seine Größe, d. h. bei unserer Annahme in bezug auf seinen Aufbau, für den mittleren Abstand zwischen den beiden Elektronen eine Länge, die noch hunderttausendmal größer ist als das größte der beiden Elektronen. Man sieht also, daß die Raumverhältnisse in dieser kleinen Welt durchaus vergleichbar sind mit denen des uns besser bekannten Planetensystems, dessen Zentralkörper die Sonne ist; die Entfernung der Sonne von den fernsten Planeten ist kaum viertausendmal so groß wie der Durchmesser der Sonne.

Auch Bewegungen werden in diesem kleinen System stattfinden. Die Elektronen können Achsenrotationen besitzen, und diese verleihen dann den Stoffen ihre magnetischen Eigenschaften. Aber sicher dürften die Elektronen unter dem Einfluß der Kräfte, die sie im Äther erfahren, gegeneinander Bewegungen besitzen. In einem Atom wie dem von uns betrachteten würde z. B. das negative Elektron eine elliptische Bahn um das positive beschreiben. Seine Geschwindigkeit würde bei dieser Bewegung einige Hundert Kilometer pro Sekunde betragen und die Umlaufszeit durchaus von der Größenordnung der Schwingungszeiten des gewöhnlichen Lichtes sein, so daß wir hier eine als möglich denkbare Form für den Mechanismus der bereits früher angenommenen elektrischen Bewegungen im Atom finden würden, die der Ursprung des Lichtes sind.

So einfach, wie wir es uns hier vorstellten, dürfte nun der Bau selbst eines Wasserstoffatoms wohl nicht sein. Und noch zweifellos komplizierter muß der der Planetensysteme sein, welche die Atome anderer chemischer Elemente bilden. Das Erlangen einigermaßen vollständiger Vorstellungen hinsichtlich dieses Baues und hinsichtlich dessen, was innerhalb dieser Planetensysteme und zwischen verschiedenen Systemen würde eintreten können, dürfte denn auch noch viele mühevolle Arbeit erfordern. Doch dafür würde man denn auch vielleicht sogar einige Vorstellung von dem Wesen der chemischen Unterschiede zwischen den Atomen und den Ursachen chemischer Wirkungen erlangen.

Man denkt hier unwillkürlich an das Radium, jenes wunderliche Element, dessen Atome vielleicht Planetensysteme sind, die sich noch in einem labilen Zustand befinden, aber in einen anderen stabileren übergehen, und daß dem gegenüber die Atome der anderen Elemente bereits stabil gewordene Systeme sein würden.

Ich will noch die Aufmerksamkeit auf die innere Energie unserer elektrischen Planetensysteme richten. Wir wissen, daß diese Energie zum Teil elektrische und zum Teil magnetische Energie ist. Wenn die relative Stellung der Elektronen in dem System und die Geschwindigkeiten, mit denen sie sich bewegen, unter der Einwirkung der Feldkräfte sich verändern, so findet bald in diesem, bald in jenem Sinne ein Übergang von Energie aus der einen Form in die andere statt. Trifft es sich hierbei, daß entgegengesetzte Elektronen sehr nahe aneinander herankommen, so gehen Mengen elektrischer Energie von der Größenordnung der elektrischen Energie eines freien Elektrons in die magnetische Form über. Berechnet man aber die Menge elektrischer Energie eines freien Elektrons, so erweist diese sich so groß, daß wenn sie vollständig in die magnetische Form umgesetzt wird, das Elektron dabei eine Geschwindigkeit von der Größenordnung der Lichtgeschwindigkeit erhalten würde. Man kann auf diese Weise erwarten, daß manchmal ein oder mehr Elektronen solche große Geschwindigkeiten erlangen und unter dazu günstigen Bedingungen vielleicht außerhalb des Systems oder sogar außerhalb des gesamten Körpers treten werden. Es ist nicht unmöglich, daß man in dieser Richtung die Erklärung für die auf den ersten Blick so rätselhaften Tatsachen suchen muß, daß radioaktive Stoffe und sogar unter bestimmten Einwirkungen auch gewöhnliche Körper Elektronen mit Geschwindigkeiten entsenden, die gleich einem 10tel bis 19tel der Lichtgeschwindigkeit sind.

Diese großen Geschwindigkeiten der von den Körpern ausgesandten Elektronen liefern mehr oder weniger direkte Angaben über die sehr beträchtlichen Energiemengen, die im Innersten der Atome aufgehäuft zu sein scheinen. Wenn wir unseren Rechnungen trauen können, so müssen diese Mengen wirklich riesenhaft sein. Ein Gramm Wasserstoff entwickelt bei der Verbrennung zu Wasser eine Menge Wärme, welche zur Temperaturerhöhung von 34 kg Wasser um einen Grad Celsius genügt. Wenn es aber zutrifft, daß das Gramm Wasserstoff ganz aus Elektronen besteht, so ist die gesamte elektrische Energie dieser Elektronen so groß, daß sie, wenn man sie in einer Maschine vollständig in mechanische Arbeit umsetzen könnte, dazu genügen würde, daß eines der großen Dampfschiffe der Holland-Amerika-Linie seine ganze Route mit ihrer Hilfe 5mal in beiden Richtungen zurücklegte.

Bei der hier angenommenen Konstitution der Materie liegen demnach innerhalb des Gebietes der Atome unmeßbare Vorräte an Energie aufgespeichert, denen gegenüber die Mengen, die wir bei der Umsetzung im täglichen Leben beobachten, ganz in das Nichts versinken.

Die wichtige Frage, inwiefern Aussicht zur Umsetzung dieser verborgenen Energiemenge in eine für uns brauchbare Form bestehen würde, muß ich hier unbesprochen lassen.

Nachdem ich Ihre Aufmerksamkeit soweit für die Früchte und Blumen der neuen Theorie in Anspruch genommen habe, muß ich Sie jetzt auch auf die Schatten hinweisen, die sie wirft.

Ernste Bedenken hat sie bei manchen Physikern, vor allem bei Poincaré erweckt. Damit Sie das größere oder geringe Schwergewicht der von ihm geäußerten Bedenken besser beurteilen können, will ich daran erinnern, daß wir folgendes unterscheiden können: eine einfache Elektronentheorie, wie sie durch die soeben angedeuteten Grundbegriffe und Prinzipien charakterisiert ist, die Theorie, welche zugibt, daß neben den Elektronen auch noch gewöhnlicher Stoff vorhanden sein kann — und eine Elektronentheorie „à outrance", die rundweg annimmt, daß aller Stoff aus Elektronen besteht, alle Masse elektromagnetische Masse ist. Vom Standpunkt dieser auf das äußerste getriebenen Elektronentheorie habe ich Sie soeben auf einige Perspektiven aufmerksam gemacht; auf diesen Standpunkt will ich mich auch jetzt wieder stellen, wenn ich einige der bedeutendsten von Poincaré aufgeworfenen Einwände aufs schärfste beleuchten werde. Doch will ich Sie noch mit Nachdruck darauf hinweisen, daß der gegenwärtige Stand unseres Wissens uns nicht erlaubt, diesen Standpunkt als den einzig möglichen und sogar nicht einmal als einen sicheren Standpunkt anzusehen.

Aber auch gegen den Standpunkt der gemäßigteren Theorie sind Poincarés Bedenken

gerichtet. Und nun ist es eigenartig, daß sich diese Bedenken in zwei Gruppen unterscheiden lassen können, so zwar, daß die erste Gruppe nur so lange von Gewicht ist, als wir uns an die einfache Theorie halten, sich aber völlig auflöst, sobald wir den letzten Schritt wagen und den weniger sicher erscheinenden Standpunkt einnehmen, während die zweite Gruppe gerade für die gemäßigte Theorie einen Ausweg offen läßt, hingegen ihre volle Bedeutung erhält, wenn wir die Elektronentheorie „à outrance" annehmen; sie kehrt sich denn aber auch weniger gegen diese Theorie selbst, als gegen die klassische Mechanik.

Die erste Gruppe will ich sehr kurz behandeln.

Poincaré kann sich u. a. nicht bei den einigermaßen gewagten Annahmen beruhigen, die Lorentz, wie wir soeben bereits gesehen haben, hat machen müssen, um seine Theorie mit den Versuchen von Michelson und von Trouton und Noble in Übereinstimmung zu bringen. Aber ich bemerkte bereits, daß diese Annahmen nur so lange gezwungen erscheinen, als man sich an die einfache Theorie hält, hingegen sehr annehmbar werden, sobald man sich auf den extremen Standpunkt stellt, so daß im letzteren Falle die Bedenken Poincarés nicht mehr von ernster Natur sind.

Ich gehe daher zu der anderen Gruppe von Bedenken über. Diese weisen auf die Gefahren hin, in die die bisher als sehr fest angesehenen Grundlagen der klassischen Mechanik geraten, wenn man die Schlußfolgerungen der Elektronentheorie annimmt. Die gewöhnliche Elektronentheorie kann diese Gefahren beschwören, wenn sie nur annimmt, daß neben Elektronen nicht nur gewöhnlicher Stoff von solchen Eigenschaften besteht, wie die klassische Mechanik sie postuliert, sondern außerdem noch gewisse Massen, welche infolge der Beschränktheit unseres Beobachtungsvermögens sich uns nicht direkt zu erkennen geben und deswegen verborgene Massen genannt werden können, doch im übrigen den Forderungen des klassischen Massenbegriffs der Mechanik völlig genügen. Von solchen verborgenen Massen würde man annehmen müssen, daß sie Bestandteile des Äthers sind, die in ihren Teilen gewissen Kräften unterliegen und mit gewissen Bewegungen begabt sind, und die materielle Träger der elektrischen und magnetischen Energie darstellen.

Wenn die Theorie dann weiterhin bei der Prüfung ihrer Schlußfolgerungen an den mechanischen Grundprinzipien nicht versäumt, auch diese verborgenen Massen in Betracht zu ziehen, kann aber von Streit mit diesen keine Rede mehr sein. Im Gegenteil glückt es hier, mit Hilfe einiger einfacher Hypothesen über die Energie der verborgenen Massen darzutun, daß ihre eigenen Grundprinzipien sich in Übereinstimmung mit denen der Mechanik befinden und daß dasselbe daher von vornherein von ihren auf rein mathematischem Wege aus den Prinzipien abgeleiteten Folgerungen versichert werden kann.

Es genügt daher, daß ich die fraglichen Bedenken weiterhin ausschließlich im Lichte der auf das äußerste getriebenen Elektronentheorie betrachte.

Wenn man die Kräfte berechnet, die nach den neueren Elektrizitätstheorien auf die Körper ausgeübt werden müssen, kommt man in vielen Fällen zu Wirkungen, welche nicht mit gleichzeitigen, ebenso starken Wirkungen auf andere Körper Hand in Hand gehen, zu Wirkungen also, welche — laut dem Grundprinzip der Gleichheit zwischen Wirkung und Gegenwirkung — in der gewöhnlichen Mechanik nicht zugelassen werden. Einige Beispiele mögen dies erläutern:

Ein Spiegel erfährt seitens eines Lichtbündels, das er auffängt und zurückwirft, einen Druck. Nicht allein die Theorie lehrt dies; vor einigen Jahren ist es Lebedew und ziemlich gleichzeitig auch Nichols und Hull geglückt, experimentell darzutun, daß dieser Druck wirklich besteht, und daß er gerade so groß ist wie die Theorie es verlangt. Eine diesem Druck entsprechende Gegenwirkung auf einen anderen Körper wird man vergebens suchen. Denn die Lichtquelle kann dieser Körper nicht sein, da dieser die Strahlungsenergie, die den Spiegel in einem gegebenen Augenblick trifft, in jedem Falle zu einem anderen Zeitpunkt ausgesandt hat; sie würde z. B. in dem Augenblick bereits erloschen sein können, in dem wir den Druck auf den Spiegel betrachten.

Ein Körper, der Licht oder Wärme ausstrahlt, wird in bezug auf diese Ausstrahlung von allen Seiten einen Druck erfahren. Wenn er sich aber in einer bestimmten Richtung fortbewegt, wird dieser Druck an der Vorderseite am größten sein und wird der Körper demzufolge einen Widerstand in seiner Bewegung erfahren, bei dem man auch wieder vergebens eine Rückwirkung auf irgendeinen anderen Körper suchen wird.

Die Kräfte, die zwei voneinander entfernt sich fortbewegende Elektronen unter ihrem gegenseitigen Einfluß erfahren, fallen im allgemeinen nicht längs der Linie, die beide Lagen verbindet; auch sind sie meistens nicht parallel und auch nicht gleichgroß.

Noch sprechender vielleicht ist folgendes Beispiel: Aus Berechnungen von Sommerfeld und anderen folgt, daß ein Elektron, das sich mit einer Geschwindigkeit fortpflanzt, die größer als die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des

Lichtes ist, ohne irgendwelche äußere materielle Ursache eine Verzögerung erfährt. Hier dürfte daher nicht nur das Gesetz der gleichen Wirkung und Gegenwirkung, sondern sogar das Trägheitsgesetz nicht standhalten.

Ein anderes ernstes Bedenken Poincarés betrifft die Unveränderlichkeit der Masse. Die Mechanik kennt nur unveränderliche Massen. Die Elektronentheorie aber lehrt, wie wir dies bereits früher erwähnt haben, daß die Masse eines Elektrons nur so lange als konstant angesehen werden kann, als das Elektron keine Geschwindigkeit besitzt, die nur einigermaßen der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes nahekommt. Bei größeren Geschwindigkeiten wird die Masse nicht nur von der Größe der Geschwindigkeit abhängig; sie wird dann selbst für in verschiedenen Richtungen auf das Elektron wirkende Kräfte verschieden ausfallen.

Auch die Unveränderlichkeit der Masse will also die Elektronentheorie umstürzen.

„Au milieu de tant de ruines," ruft Poincaré aus, „que reste-t-il debout?"

In der Tat man muß zugeben, daß die Prinzipien der Mechanik in ernste Gefahr gebracht werden.

Nicht daß alles, was die Mechanik gelehrt hat, mit einem Schlage unrichtig und unzuverlässig geworden sein sollte; weit entfernt. Die Mechanik ist ein logisch zusammenhängendes Ganze mit an und für sich durchaus festen Grundprinzipien. Unrichtig kann sie nicht sein. Die Frage kann nur lauten, ob die Grundprinzipien nicht zu beschränkt sind, um die daraus abgeleiteten Folgerungen auf jeden in der Natur vorkommenden Fall einer Bewegung ohne Vorbehalt anzuwenden. Aber da können wir bemerken, daß zahlreiche Probleme bestehen und bestehen bleiben werden, u. zw. nicht nur technische, sondern auch physikalische, bei denen man im voraus weiß, daß man es nicht mit Geschwindigkeiten zu tun haben wird, die der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes nahekommen, noch auch mit anderen Kräften als solchen, die den Grundprinzipien der Mechanik genügen — wenigstens innerhalb der Grenzen unseres beschränkten Wahrnehmungsvermögens oder des Genauigkeitsmaßes, das der Zweck erfordert, um dessentwillen die Probleme gestellt wurden; und für die Behandlung aller solcher Probleme wird sicherlich die Mechanik eine zuverlässige Führerin bleiben.

Aber eine solche vollkommen zuverlässige Führerin ist sie bei den Arbeiten nicht mehr, die äußerste Genauigkeit erfordern, und vor allem bei unserem Suchen nach möglichen Formen des verborgenen Mechanismus der Erscheinungen.

Hierin liegt aber auch an und für sich nicht der Ernst der Gefahr; es zeigt sich nämlich, daß dann zu einer Behandlung, wenigstens einer vorläufigen Behandlung, dieser feineren Arbeit wohl Wege zu finden sind, auf denen man den fraglichen Prinzipien überhaupt nicht begegnet.

Der Ernst aber liegt darin, daß wir das Ideal, welches wir uns bei unserer mechanischen Naturbeschreibung vor Augen gestellt hatten und welches wir sogar bereits teilweise erreicht zu haben glaubten, uns wieder entschlüpfen sehen.

Denn — die Physiker mögen sich mit noch so großer Bedachtsamkeit vor Augen halten, daß es uns einmal unmöglich ist, von der Wirklichkeit, die außerhalb unseres Bewußtseins liegt, jemals irgendwelche vollkommen zuverlässige Kenntnis zu erwerben — sie mögen sich aus diesem Grunde daran gewöhnt haben, als letzten Zweck der Physik nur den Besitz einer einfachen und möglichst vollkommenen Beschreibung der Erscheinungen zu betrachten, — wenn sie sich Rechenschaft davon geben, warum sie bei dieser Beschreibung die Naturerscheinungen stets als Bewegungserscheinungen zu kennzeichnen versucht haben und zwar als solche Bewegungserscheinungen, wie die klassische Mechanik sie mit Ausschluß aller anderen denkbaren zum Gegenstand der Betrachtung zu machen wünscht, so werden sie sich nicht verhehlen können, daß sie in dieser Richtung zunächst durch den Glauben geleitet werden, daß in der Wirklichkeit, von der unser physikalischer Weltbegriff ein Widerschein ist, gewisse Elemente vorhanden sind, die an und für sich unveränderlich sind — und dann weiter durch die Hoffnung, daß es uns gelingen werde, einiger dieser Elemente, wenigstens in ihrem Widerschein, kennen zu lernen und zahlreiche in unserer Umgebung beobachtete Veränderungen, als sich unmittelbar aus dem unveränderten Fortbestehen dieser Elemente ergebend, auffassen zu lernen. Und meinten sie nicht in der Masse eines Körpers und in der Bewegungsmenge eines sich selbst überlassenen Systems bereits den Widerschein derartiger unveränderlicher Elemente der außerhalb des Bewußtseins stehenden Wirklichkeit gefunden zu haben? War dies nicht der Grund, warum sie trotz der von ihnen selbst so rückhaltslos anerkannten unvollkommenen Zuverlässigkeit ihrer Wahrnehmung, doch eifrig annahmen, daß die Masse eines Körpers und die Bewegungsmenge eines solchen Systems nicht angenähert, sondern absolut unveränderliche Größen sein müßten, und im Zusammenhang hiermit, daß ein Trägheitsgesetz und ein Gesetz von der Gleichheit der Wirkung und Gegenwirkung bis in seine äußersten Konsequenzen gültig sein müßten?

Und so kommt denn im Jahr 1900 auf der Naturforscher-Versammlung zu Aachen, bei Ge-

legenheit von Lorentz' erster Mitteilung über die magnetische Masse der Elektronen, Wien mit der kühnen Annahme, daß überhaupt jede Masse elektromagnetischen Ursprunges sein könnte und mit dem aufsehenerweckenden, aber nicht unmittelbar in seiner vollen Bedeutung begriffenen Vorschlag, dann auch dahin zu arbeiten, daß von dieser Annahme ausgehend und mit Verzichtleistung auf die klassischen Grundprinzipien, die Mechanik gänzlich auf die Grundlagen der Elektronentheorie basiert werde.

Mit Verzichtleistung also auf die absolut unveränderliche Masse und die absolut unveränderliche Bewegungsmenge! Die Masse, die wir als direkten Widerschein eines elementaren Wesens ansehen zu können glaubten, tritt nun als ein Integral auf, dessen Elemente uns zwar bekannt, aber doch noch keineswegs verständlich waren!

Auf diese Weise droht nun die Illusion gebrochen zu werden.

Oder sollte es nicht eine Enttäuschung sein, auf diese Weise von dem bereits eroberten gewohnten Grund ein gut Teil wieder preisgeben zu müssen?

Eine Enttäuschung sicherlich. — Aber eine Enttäuschung, die glücklicherweise auch mit einem großen Gewinn Hand in Hand gehen kann.

Wenn es nämlich dann weiterhin glücken sollte, die Wirkungen der Schwerkraft und aller zwischen den Molekülen und Atomen wirkenden Kräfte als Ausflüsse elektromagnetischer Erscheinungen aufzufassen, die unter die Grundbegriffe der Theorie fallen — und vorläufige Bemühungen in dieser Richtung sind bereits von gehörigem Erfolge gekrönt worden, — dann würde man das Ideal einer einfachen Beschreibung der physikalischen Erscheinungen von möglichster Vollständigkeit doch auf alle Fälle um einen großen Schritt weiter gebracht haben. Die ganze Beschreibung wäre dann auf die Angabe der Elektronen, aus denen die physikalische Welt aufgebaut ist und in der Lage und Bewegung jedes dieser Elektronen in einem einzelnen bestimmten Augenblick zurückgeführt. Die von diesen Elektronen im Laufe der Zeit erfahrenen Ortsveränderungen, die ihrerseits die in das Bereich unserer Beobachtung fallenden Veränderungen des groben Stoffes vollständig bestimmen würden, sie würden selbst ausschließlich durch die Beziehungen und Kräfte bestimmt werden, welche in den so kurzgefaßten Grundprinzipien der Elektronentheorie ausdrücklich angenommen werden. Und mag auch die Möglichkeit nicht ausgeschlossen sein, daß es sich bei weiterer Anwendung dieser Prinzipien nötig erweise, einigen Beziehungen eine allgemeinere Form zuzuerkennen[1]), so würde doch eine große Vereinfachung in jedem Falle darin liegen, daß von besonderen Kräften, die jede für sich besonders ausgespürt, beschrieben und in Rechnung gebracht werden müßten, keine Rede mehr zu sein braucht.

Und dann — was würde uns hindern, bei dem Preisgeben der Illusion von der unveränderlichen Masse und unveränderlichen Bewegungsmenge uns zugleich ein neues Ideal zu schaffen?

Warum sollten wir nicht hoffen können, daß es uns noch einst glücken werde, einige der Grundprinzipien der Elektronentheorie, die dies noch benötigen, in solche Form zu bringen, daß sie uns ebenso natürlich wie die anderen erscheinen, ebenso natürlich wie uns bisher die Unveränderlichkeit der Masse und die Unveränderlichkeit der Bewegungsmenge vorkam?

Wenn darum auch der Fortgang der Untersuchungen Tatsachen ans Licht bringen sollte, die unzweideutig auf die Notwendigkeit hinweisen, die Elektronenhypothese auch in ihren äußersten Konsequenzen anzunehmen, so würde doch die Prognose für den Ablauf der Krisis so günstig wie möglich lauten können.

Dann würde es sich gezeigt haben, daß die gewöhnliche Materie als ganz aus Elektronen bestehend aufgefaßt werden muß, die keine andere als ihre elektromagnetische Masse besitzen. Die auf die Masse bezüglichen Grundbegriffe und Prinzipien der klassischen Mechanik würden als solche ausgedient haben. Als Hilfsbegriffe und Näherungsgesetze würden sie noch weiter bei der Behandlung zahlreicher praktischer und theoretischer Probleme eine große Rolle spielen. Ihre höchste Aufgabe aber würde an ein jüngeres System von Grundbegriffen und Prinzipien übergehen, das bereits einen Teil der Naturbeschreibung hat tragen müssen, dann aber gezeigt haben würde, daß es auch mit dem Ganzen fertig wird.

Wir würden ärmer an Illusionen, aber reicher in unseren Idealen geworden sein.

Diese letzteren aber sind es, die am meisten zur Arbeit anregen.

1) Ich denke hier z. B. an die nähere Annahme, die Lorentz machen muß, als er einen Versuch unternimmt, die Gravitation als eine elektromagnetische Erscheinung zu erklären. Diese Annahme ist die, daß die Zustandsveränderung, welche im Äther in der Umgebung eines positiven Elektrons besteht, insofern nicht vollkommen gleichartig mit der in der Umgebung eines negativen Elektrons bestehenden wäre, als der Äther sich in einem Punkt, wo beide Zustandsveränderungen gleichzeitig in entsprechender Stärke und gerade entgegengesetzter Richtung bestehen, doch noch nicht ganz im neutralen Zustand befinden, sondern z. B. auf ein Elektron, wenn es in diesem Punkt gesetzt wurde, noch eine gewisse, wenn auch sehr schwache Wirkung ausüben würde. Auch muß man mit der Möglichkeit rechnen, daß man z. B., um von einigen molekularen oder intramolekularen Wirkungen Rechenschaft abgeben zu können, bestimmte Annahmen in bezug auf den inneren Bau eines Elektrons würde machen müssen.

(Aus dem Holländischen übersetzt von Alfred Gradenwitz.)

(Eingegangen 3. Mai 1905.)

BESPRECHUNGEN.

Jahrbuch des Photographen und der photographischen Industrie sowie der graphischen Gewerbe. Ein Hand- und Hilfsbuch für Photographen, Reproduktionstechniker und Industrielle. Jahrgang III, 1905. Herausgegeben von G. H. Emmerich. 8. VIII mit 8 Tafeln und 50 Illustrationen im Text. Berlin, G. Schmidt. M. 3,50.

Das nicht nur für Fachphotographen, sondern auch für Amateure sehr verwendbare Jahrbuch bringt zunächst in einem längeren Abschnitt eine Fülle von Referaten aus dem Gebiete der photographischen Technik und der graphischen Gewerbe. Dann folgen chemische Tabellen und eine Rezeptsammlung und endlich eine Reihe wichtiger Angaben wie über Unterrichtswesen, Vereins- und Patentwesen. Das Buch entspricht durchaus den Anforderungen eines praktischen Ratgebers. Behrendsen.

(Eingegangen 12. März 1905.)

Deutscher Camera-Almanach 1905. Ein Jahrbuch für Amateur-Photographen. Unter Mitwirkung von bewährten Praktikern herausgegeben von F. Loescher. gr. 8. VIII u. 260 S. mit 1 Gravüre u. 131 Abbildungen im Text. Berlin, Gust. Schmidt. M. 3,50, gebunden M. 4,—.

Das empfehlenswerte, sehr schön ausgestattete, für Amateure bestimmte Jahrbuch ist durch die Fülle vortrefflicher Bilder wohl dazu angetan, von den Fortschritten des vergangenen Jahres auf dem Gebiete der Kunstphotographie ein deutliches Bild zu geben. Der Text besteht aus wertvollen Originalbeiträgen aus den verschiedensten Gebieten der Photographie, vorwiegend künstlerische oder ästhetische Fragen behandelnd. Doch ist auch ein ausgiebiger Bericht über die Fortschritte der photographischen Technik beigegeben. Behrendsen.

(Eingegangen 12. März 1905.)

F. H. Getman, Laboratory exercises in physical chemistry. 8. VIII u. 241 S. mit 100 Figuren. New York. John Willey & Sons. (London, Chapman & Hall, Ltd.). 1904. Gebunden 2 Dollar.

In der Vorrede zu dem vorliegenden Buche stellt der Verfasser die beiden Bücher von Ostwald (Hand- und Hilfsbuch etc.) und von Traube (Physikalisch-chemische Methoden) zusammen und sagt, daß er das vorliegende Buch geschrieben habe, da die beiden anderen Werke sich nicht als praktische Führer im Laboratorium bewährt hätten. Dem Referenten will es jedoch scheinen, als wenn es besser gewesen wäre, der Verfasser hätte das Ostwaldsche Hand- und Hilfsbuch, resp. den „Ostwald-Luther" einfach übersetzt, statt ein neues Buch zu schreiben, trotz der zu vielen Details und der zu zahlreichen Literaturangaben, welche diesem Werke vorgeworfen werden. Dieser Versuch, einen praktischen Führer durch die physikalische Chemie mit möglichst niedrigem Niveau zu schreiben, scheint dem Referenten einigermaßen verfehlt. E. Bose.

(Eingegangen 27. März 1905.)

P. Th. Müller, Les lois fondamentales de l'électrochimie. (Encyclopédie scientifiquè des Aide-Mémoires.) Gauthier-Villars, Masson et Cie, Paris.

Mit dem vorliegenden Werkchen verfügt die französische Literatur über ein durchaus auf modernem Standpunkte stehendes Buch über die theoretische Elektrochemie. Müllers Buch erweist sich als ein kurzer, aber durchaus zuverlässiger Führer in die wissenschaftliche Elektrochemie und ist als ein Zeichen dafür zu betrachten, daß die Elektrochemie nunmehr auch in Frankreich aus dem wesentlich experimentellen Stadium in ein solches auf wissenschaftlicher Grundlage einzulenken beginnt, das ihr nur zum Vorteil gereichen kann. Die übersichtliche Anordnung des Ganzen verdient volles Lob. E. Bose.

(Eingegangen 14. Juni 1905.)

F. Mollwo Perkin, Practical methods of electrochemistry. gr. 8. X u. 322 S. Mit einem Bildnis Faradays und 64 Textfiguren. London. Longmans, Green and Co. 1905. sh. 6— nv.

In dem vorliegenden Buche wird die elektrochemische Literatur um ein Werk bereichert, welches in ebenso klarer, wie im allgemeinen sachlich einwandfreier Weise die Methoden der Elektroanalyse und die elektropräparativen Darstellungsweisen behandelt. Am Ende eines jeden Abschnittes wird die Literatur über den betreffenden Gegenstand, im allgemeinen bis auf die neueste Zeit vervollständigt, zusammengestellt. Der Hauptzweck des Buches ist, als Übungsbuch für elektroanalytische und präparative Arbeiten zu dienen, und diesen Zweck wird das Buch in England gewiß in zufriedenstellendster Weise erfüllen. Auch für die Ausbreitung elektrochemischer Methoden wird das Werk gewiß anregend wirken. Wenn Ausstellungen zu machen sind, so betreffen die-

selben wesentlich den Druck von Namen, wobei dem Verfasser des öfteren Verwechslungen vorgekommen sind, wie Cohen statt Coehn, Glaser statt Gläser usw. Aber diese Kleinigkeiten tun dem günstigen Gesamteindruck des Buches keinerlei Abbruch. E. Bose.

(Eingegangen 14. Juni 1905.)

Rudolf Schenck, Kristallinische Flüssigkeiten und flüssige Kristalle. gr. 8. VIII u. 159 S. mit 86 Textfiguren. Leipzig, W. Engelmann. 1905. M. 3,60.

Nachdem vor Jahresfrist Lehmann seine umfangreichen Untersuchungen über die sog. flüssigen Kristalle herausgegeben hat, ist es nunmehr zur Vervollständigung des Gesamtbildes der anisotropen Flüssigkeiten äußerst erwünscht, daß auch die physikalisch-chemische Seite der Sache einmal zusammenfassend bearbeitet und in den Vordergrund gerückt wird. Dazu ist jedenfalls der Verfasser des vorliegenden Werkchens die berufenste Persönlichkeit. Es kann daher das Schencksche Buch allen Interessenten uneingeschränkt empfohlen werden. Das überaus klar und anschaulich geschriebene Werk ist mit zahlreichen vorzüglichen Figuren ausgestattet, welche namentlich die physikalisch-chemischen Eigenschaften der verschiedenen kristallinischen Flüssigkeiten gut veranschaulichen. Glücklicherweise ist die Zahl der anisotropen Flüssigkeiten in ständigem Steigen begriffen und so steht zu hoffen, daß durch weitere Untersuchungen auch die jetzt noch strittigen Punkte im Laufe der nächsten Jahre zur Lösung gelangen. Jedenfalls wird das Schencksche Buch alsdann wesentlich zur Klärung der Sachlage beigetragen haben. E. Bose.

(Eingegangen 14. Juni 1905.)

R. Börnstein u. W. Marckwald, Sichtbare und unsichtbare Strahlen, gemeinverständlich dargestellt. (Aus Natur u. Geisteswelt. Nr. 64.) 8. VI und 142 S. mit 82 Abbildungen im Text. Leipzig, B. G. Teubner. 1905. M. 1.—, gebunden M. 1,25.

Hier wird in völlig populärer und anschaulicher Weise das Wesen der verschiedenen Strahlenarten behandelt. Die Kapitelüberschriften des für sehr weite Kreise empfehlenswerten Büchleins sind die folgenden: 1. Wellennatur der Strahlen. 2. Schallstrahlen und Schallwellen. 3. Lichtstrahlen. 4. Der unsichtbare Teil des Spektrums. 5. Strahlen elektrischer Kraft. 6. Strahlung radioaktiver Stoffe.

E. Bose.

(Eingegangen 14. Juni 1905.)

J. Daniel, Radioactivité. gr. 8. 119 S. mit 40 Figuren im Text. Paris, Ch. Dunod. 1905. Fr. 3,50.

Ein mit Geschick zusammengestellter Überblick des Tatsächlichen aus dem Gebiete der Radioaktivität ist es, der den französischen Lesern hier in leichter und doch durchaus korrekter Form unter Fortlassung allerdings jeglicher theoretischer Zutaten gegeben wird. Die Literatur auf dem Gebiet der Radioaktivität wächst zurzeit mehr in die Breite als in die Tiefe. E. Bose.

(Eingegangen 14. Juni 1905.)

Personalien.

(Die Herausgeber bitten die Herren Fachgenossen, der Redaktion von eintretenden Änderungen möglichst bald Mitteilung zu machen.)

Es habilitierten sich: an der Universität Klausenburg Dr. L. Fejér für Analysis und analytische Mechanik, an der Hochschule für Bodenkultur in Wien Dr. Richard Fanto für Chemie der Nahrungs- und Genußmittel, an der Universität Berlin Dr. Franz Fischer (vorher in Freiburg i. B.) für Chemie, in Göttingen Dr. J. Ruer für Chemie, in Erlangen Dr. Rudolf Reiger für Physik.

Der Assistent am chemischen Institut und Privatdozent der Chemie in Tübingen, Professor Dr. Dimroth hat einen Ruf als Extraordinarius an die Universität München erhalten und angenommen. Dr. Karl Schild, 1. Assistent an der elektrotechnischen Abteilung des Eidgenössischen Polytechnikums in Zürich, hat einen Lehrauftrag für Elektrotechnik an dessen chemisch-technische Abteilung erhalten.

Ernannt wurden der Abteilungsvorsteher am königl. meteorologischen Institut in Berlin Geh. Regierungsrat Professor Dr. med. et phil. Richard Aßmann zum Direktor des Aeronautischen Observatoriums in Lindenberg, der Privatdozent für Physik an der Berliner Universität Dr. Ernst Gehrcke zum technischen Hilfsarbeiter bei der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.

Dem etatsmäßigen Professor der Spektralanalyse, Photometrie und Photographie an der Technischen Hochschule zu Berlin Dr. Adolf Miethe ist der Charakter eines Geheimen Regierungsrates verliehen worden.

Die Königlich Sächsische Gesellschaft der Wissenschaften hat die Herren Geh. Hofrat Professor Dr. W. Hallwachs in Dresden und Professor Dr. O. Fischer in Leipzig zu ordentlichen Mitgliedern der mathematisch-physikalischen Klasse gewählt.

Gesuche.

Ein Physiker,

der auf dem Gebiete der **Hydrodynamik** schon gearbeitet hat, wird für die unterzeichnete Anstalt als wissenschaftlicher Mitarbeiter gesucht. — Meldungen mit Angabe des Gehaltsanspruchs sind zu richten an die

Königliche Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau, Berlin, Schleuseninsel im Tiergarten.

Tüchtiger Physiker

für die Meßinstrumenten-Abteilung unserer Apparatefabrik baldigst **gesucht.** — Gefl. Angebote mit Bildungsgang, Gehalts-Ansprüchen etc. erbeten an

Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft Apparatefabrik Berlin N. 31, Ackerstr. 71/76.

Für die Redaktion verantwortlich Privatdozent Dr. Emil Bose in Göttingen. — Verlag von S. Hirzel in Leipzig.
Druck von August Pries in Leipzig.